

Aus dem Institut für Umweltingenieurwesen  
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

# **Clean Produktion unter dem Gesichtspunkt der Abfallwirtschaft für die Industrie-City in Aleppo**

Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)  
an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität Rostock

Vorgelegt von:  
Dipl.-Ing. Abdulkader Majanny,  
geb. am 12. November 1980 in Ariha, Syrien  
Rostock, 29. 04. 2010

urn:nbn:de:gbv:28-diss2010-0182-7

**Gutachter:**

PD Dr.-Ing. habil. Abdallah Nassour (Universität Rostock)

Prof. Dr.-Ing. habil. Dieter Steinbrecht (Universität Rostock)

Prof. Dr.-Ing. Reinhard Scholz (Technische Universität Clausthal)

Prof. Dr.-Ing. Aber Mohamad (Universität Al-Baath)

**Tag der Verteidigung:**

26. Oktober. 2010

## **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorgelegte Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Rostock, 29.04.2010

Abdulkader Majanny

## **Vorwort**

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Umweltingenieurwesen, Lehrstuhl Abfall- und Stoffstromwirtschaft der Universität Rostock. Sie wurde von der syrischen Regierung/Ministerium für die lokale Administration finanziert. Die syrische Regierung hat in den letzten Jahren vier Industrie-Cities in den Hauptregionen Damaskus, Aleppo, Homs und Der Al-Zour gegründet und teilweise realisiert. Dies dient im Vordergrund zur Förderung der Industrie und der syrischen Wirtschaft. Weitere Ziele sind die Schaffung von günstigen infrastrukturellen Rahmenbedingungen für die privaten und staatlichen Investitionen. Für alle Industrie-Cities sind Maßnahmen des Umweltschutzes vorgesehen. Es sollen angepasste zentrale und dezentrale technische Lösungen für Abwasser, Abfall und Abluft gebaut werden. Die zentrale Verwaltung der Industrie-Cities ist mit der Realisierung der Aufgabe beauftragt, organisatorische und technisch angepasste Lösungen zu entwickeln und einzuführen.

Im Rahmen dieser Promotionsarbeit wurde eine Ist-Analyse zur gesamten Situation der Abfallwirtschaft der Industrie-City Scheich-Najar in Aleppo durchgeführt, in der die anfallenden Abfälle einzelner Industriezweige erfasst und bewertet wurden. Die Textil- und Lebensmittelindustrie stellen die wichtigsten Industriezweige dar. Für die relevanten Betriebe beider Branchen wurden die anfallenden Abfälle tiefgründig untersucht. Die Abfälle der Textilindustrie sind die Produktionsreste, welche für die thermische Verwertung sehr gut geeignet sind. Es wurden Materialien nach Deutschland transportiert und in Zusammenarbeit mit dem Institut für Energieverfahrenstechnik und Brennstofftechnik der TU Clausthal die Eignung für die thermische Verwertung untersucht.

Die anfallenden Abfälle der Lebensmittelindustrie in der Industrie-City Scheich Najar sind organische Abfälle und Klärschlämme der Kläranlagen. Für diese Abfälle wurden die biologischen Abfallbehandlungsverfahren untersucht. Die Kompostierungsversuche sind in Syrien in der Industrie-City Scheich Najar gelaufen. Die Vergärungsversuche wurden im Technikum des Lehrstuhls Abfall- und Stoffstromwirtschaft der Universität Rostock durchgeführt.

Die gewonnenen und erreichten Ergebnisse aus der Erfassung des Ist-Standes und aus den praktischen Untersuchungen bildeten die Grundlagen für ein zukünftiges Abfallwirtschaftskonzept, in dem die organisatorischen und finanziellen Aspekte berücksichtigt wurden. Die ersten Ansätze wie Gebühren nach dem Verursacherprinzip und Bereitstellung/Sammlung sind kurzfristig realisiert. Die Industrie-City hat entsprechend der verfügbaren Mittel die notwendigen Techniken der Entsorgungslogistik (Behälter, Fahrzeuge) angeschafft und im Betrieb eingesetzt. Die Realisierung weiterer Maßnahmen zur Behandlung und Verwertung befindet sich in der Vorbereitungsphase.

Diese Arbeit wird als Grundlage für die Industrie-City Scheich Najar in Aleppo beim Aufbau eines zukünftigen Abfallwirtschaftssystems genutzt. Das lokale Personal war fast bei allen Aktivitäten integriert und hat ein umfangreiches Fachwissen gewonnen.

## **Danksagung**

Ich möchte mich zuallererst ganz herzlich bei Herrn PD Dr.-Ing. habil. Nassour für die Bereitstellung des Promotionsthemas und für die umfassende Betreuung der Arbeit bedanken. Er hat mich fachlich in allen Bereichen meiner Promotion unterstützt. Hierfür gilt ihm mein besonderer Dank.

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. Scholz, Herrn Prof. Dr. Steinbrecht, und Herrn Prof. Dr. Mohamad für die freundliche Übernahme des Korreferats. Dafür, dass ich an der Universität Clausthal einige meiner Versuche durchführen konnte, möchte ich Herrn Prof. Dr. Scholz nochmals Danke sagen.

Mein weiterer Dank und Respekt richtet sich an Herrn Prof. Dr. Nelles, Frau Dr. Schüch und Herrn Dr. Morscheck. Sie haben mich all die Zeit technisch und fachlich unterstützt. Hierbei genoss ich stets ihre Höflichkeit und ihren Respekt. Bei den Kolleginnen Frau Herz, Frau Beckmann vom Sekretariat, Frau Nelles, Herrn Dipl.-Ing Engler und Herrn Dipl.-Ing Steffen Licht bedanke ich mich für die technische Unterstützung und die freundliche Hilfsbereitschaft.

Meine finanzielle Unterstützung erhielt ich durch das syrische Ministerium für lokale Verwaltung und Umwelt. Ihnen möchte ich recht herzlich Danke für Ihre Hilfe sagen. Ich danke auch der Verwaltung der Industrie-City in Aleppo, insbesondere dem Direktor Herrn Haitham Daw und Frau Zakia Haj Abas, die meine Arbeit im Industriegebiet erleichtert und mich stets unterstützt haben.

Weiterhin gilt mein Dank allen syrischen und deutschen Freunden insbesondere Jan Landman und Sven Gose, die mich immer motiviert und unterstützt haben.

Abschließend danke ich meinen Eltern und Schwiegereltern, meiner Frau Rawa Khatib sowie meinem Sohn Nadim für die jahrelange Unterstützung und die Geduld, die sie mir entgegen gebracht haben.

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Symbolverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>XI</b>
<b>1 Einleitung und Problemstellung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Landesspezifische Grundlageninformationen .....</b>	<b>4</b>
2.1 Generelle Angaben .....	4
2.2 Syrische Hauptindustrie .....	5
2.3 Allgemeine Einführung in die Abfallwirtschaft in Syrien .....	6
2.3.1 Rechtsgrundlagen und Organisationsstruktur .....	6
2.3.2 Abfallarten, -mengen und -zusammensetzungen .....	7
2.3.3 Aufbereitungs- und Entsorgungsverfahren .....	8
<b>3 Ist-Stand der Abfallwirtschaftssituation der Industrie-City in Aleppo.....</b>	<b>11</b>
3.1 Allgemeine technische und organisatorische Informationen .....	11
3.2 Relevante Industriezweige .....	13
3.3 Aktueller Stand der Abfallwirtschaft im Industriegebiet .....	14
3.4 Schwachstellen und relevante Probleme des Abfallwirtschaftssystems ...	18
<b>4 Stand des Umgangs mit den Haushalts- sowie Industrieabfällen in</b>	
<b>Deutschland.....</b>	<b>20</b>
4.1 Einführung in die Abfallwirtschaft in Deutschland .....	20
4.1.1 Definition und Teilsysteme der Abfallwirtschaft .....	20
4.1.2 Entwicklung und weitere Ziele der Abfallwirtschaft .....	22
4.2 Organisation der Abfallwirtschaft in Deutschland.....	24
4.3 Entsorgungslogistik.....	26
4.3.1 Hauptelemente der Entsorgungslogistik .....	26
4.3.2 Erfassung und Sammlung .....	27
4.3.3 Transportverfahren .....	29
4.3.4 Behälter- und Fahrzeugsysteme .....	30
4.4 Behandlungsverfahren.....	31

<b>5</b>	<b>Versuchsprogramm und Methoden.....</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>Untersuchungen zur thermischen Verwertung relevanter Stoffströme aus der Textilindustrie.....</b>	<b>34</b>
6.1	Ziele der Untersuchungen.....	34
6.2	Menge und Arten untersuchter Brennstoffe .....	35
6.3	Untersuchungen zur Charakterisierung einzelner Brennstoffe.....	36
6.3.1	Immediatanalyse (Kurzanalyse ).....	37
6.3.2	Elementanalyse (Elementarzusammensetzung) .....	38
6.3.3	Kalorische Brennstoffeigenschaften .....	39
6.4	Thermogravimetrische Analysen .....	41
6.4.1	Beschreibung der Versuchsanlage .....	44
6.4.2	Versuchsdurchführung.....	45
6.4.3	Versuchsauswertung .....	46
6.4.3.1	Messungen und Ergebnisse .....	46
6.4.3.2	Bilanzierung und zu berechnende Größen.....	51
6.5	Verbrennungsversuche auf dem Chargenrost .....	54
6.5.1	Beschreibung der Versuchsanlage .....	55
6.5.2	Versuchsdurchführung.....	57
6.5.3	Versuchsauswertung .....	59
6.5.3.1	Messungen und Ergebnisse .....	59
6.5.3.2	Bilanzierung und zu berechnende Größen.....	61
6.5.3.3	Beschreibung des Verbrennungsverhaltens .....	67
6.6	Auswertung und Interpretation der gewonnen Ergebnisse .....	70
<b>7</b>	<b>Untersuchungen zur Behandlung relevanter Stoffströme aus der Lebensmittelindustrie.....</b>	<b>73</b>
7.1	Kompostierungsversuche .....	73
7.1.1	Grundlagen der Kompostierung.....	73
7.1.2	Kompostarten, -qualität und Anwendungen.....	76
7.1.3	Versuchsdurchführung.....	78
7.1.4	Versuchsauswertung und Schlussfolgerungen .....	80



7.2	Vergärungsversuche .....	84
7.2.1	Grundlagen der Biogasgewinnung.....	84
7.2.2	Biogaszusammensetzung und -verwertung.....	86
7.2.3	Durchführung der Batchversuche .....	88
7.2.4	Auswertung der Versuchsergebnisse .....	91
<b>8</b>	<b>Ökologische und ökonomische Konzeption zum umweltgerechten Umgang mit den Abfällen der Industrie-City in Aleppo .....</b>	<b>96</b>
8.1	Grundlage des Konzeptes .....	96
8.2	Lösungskonzepte zum Umgang mit den Industrieabfällen.....	101
8.3	Aufbau der Infrastrukturen und der Anlagen .....	105
8.3.1	Logistik .....	105
8.3.2	Behandlungsanlage .....	106
8.3.2.1	Thermische Verwertungsanlage.....	106
8.3.2.2	Biologische Behandlungsanlage .....	111
8.4	Schritte und Anforderungen der anschließenden Phase.....	115
8.4.1	Kurzfristige Schritte.....	115
8.4.2	Mittelfristige und langfristige Schritte .....	117
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>119</b>
<b>10</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>124</b>
<b>11</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>137</b>

## **Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1: Landkarte von Syrien .....	4
Abb. 2: Grafische Darstellung der Flächennutzung in der Industrie-City .....	11
Abb. 3: Branchen der relevanten Industriezweige .....	14
Abb. 4: Fließbild zur Unterteilung von Industrieabfällen .....	15
Abb. 5: Stellung der Abfallwirtschaft in der Volkswirtschaft .....	20
Abb. 6: Subsysteme der Abfallwirtschaft .....	21
Abb. 7: Entwicklung und weitere Ziele der Abfallwirtschaft in Deutschland .....	22
Abb. 8: Sammelsysteme .....	28
Abb. 9: Einordnung des Transports in die verschiedenen Verfahrensschritte der Abfallbeseitigung .....	29
Abb. 10: Wege des Abfalls .....	31
Abb. 11: Eingesetzte Textilabfälle bei den Untersuchungen .....	35
Abb. 12: Anteil der Entgasungsprodukte von Hausmüll als Funktion der Pyrolysetemperatur .....	42
Abb. 13: Haupteinflussgrößen in Pyrolyseprozessen .....	43
Abb. 14: Schematische Darstellung und Foto der Thermowaage .....	44
Abb. 15: Massenänderung als Funktion der Temperatur bei der Pyrolyse industrieller Gummibänder .....	46
Abb. 16: Konzentration der Abgaskomponenten als Funktion der Temperatur für industrielle Gummibänder .....	47
Abb. 17: Versuchsanlage „Jenkner-Retorte“ und gebildeter Pyrolyseöl-Teer bei der Entgasung industrieller Gummibänder .....	50
Abb. 18: Massenbilanz der Thermowaage für Faserreste .....	53
Abb. 19: Schematische Darstellung und Foto der Chargenrost-Versuchsanlage .....	56
Abb. 20: Abgaskonzentrationen bei der Verbrennung von Bekleidungsresten .....	60
Abb. 21: Temperaturverlauf im Bett bei der Verbrennung der Bekleidungsreste .....	61
Abb. 22: Massen- und Energiebilanz für Bekleidungsreste .....	65
Abb. 23: Temperaturverlauf im Gutbett von Holzschnitzeln .....	68
Abb. 24: Reaktionsfrontgeschwindigkeit .....	68
Abb. 25: Unverbrannte und verbrannte Faserreste .....	69
Abb. 26: Formen der bei der Verbrennung entstehenden Asche .....	72

Abb. 27: Darstellung von Temperatur, Kohlenstoffabbau, Ammoniumfreisetzung und pH-Wert unter optimalen Bedingungen über eine Rottezeit von 20 Wochen .....	74
Abb. 28: Eingesetzte organische Stoffe in den Kompostierungsversuchen .....	79
Abb. 29: Temperaturverlauf bei der Kompostierung.....	80
Abb. 30: Schematische Darstellung der Biogasproduktion .....	84
Abb. 31: Möglichkeiten der Biogasverwertung .....	87
Abb. 32: Untersuchte Getreiderückstände .....	88
Abb. 33: Aufbau der Batch-Versuchsanlage .....	89
Abb. 34: Zusammensetzung der untersuchten Getreiderückstände .....	92
Abb. 35: Biogas- und Methanertrag .....	95
Abb. 36: vorhandene und zukünftig vorgeschlagene Organisationsstruktur .....	98
Abb. 37: Gebührenkonzept für die Industrie-City .....	100
Abb. 38: Fließbild des Umgangs mit Industrieabfällen in Aleppo .....	102
Abb. 39: Erlöse-/Kostenfunktion bei Wärmeabgabe 40 €/MWh und BS- Annahmepreis variabel .....	109
Abb. 40: Erlöse-/Kostenfunktion bei BS- Annahmepreis 0 €/t und Wärmeabgabe variabel .....	109
Abb. 41: Erlöse-/Kostenfunktion beim „Nur-Stromverkauf“ für unterschiedliche Leistung der Biogasanlage.....	113
Abb. 42: Erlöse-/Kostenfunktion beim Strom- und Wärmeverkauf für unterschiedliche Leistung der Biogasanlage .....	113
Abb. 43: Erlöse-/Kostenfunktion beim Strom-, Wärme- und Kompostverkauf für unterschiedliche Leistung der Biogasanlage .....	114
Abb. 44: Jointventures-Struktur .....	117

## **Tabellenverzeichnis**

Tab. 1: Wesentliche Kenndaten der Industriegebiete in Syrien.....	5
Tab. 2: Anfallende Abfallarten und -mengen in Syrien .....	7
Tab. 3: Abfallzusammensetzung des syrischen Hausmülls. ....	8
Tab. 4: Merkmale der Abfallsammlung und des Abfalltransports .....	9
Tab. 5: Tabellarische Übersicht zur Flächennutzung der Industrie-City .....	12
Tab. 6: Übersicht zur technischen und sozialen Infrastruktur.....	12
Tab. 7: Übersicht über Fläche und Anzahl der Grundstücke der Industrie- gebiete .....	13
Tab. 8: Übersicht zur Anzahl der Industriebetriebe .....	14
Tab. 9: Gegenwärtig vorhandene verwertbare und zu entsorgende Industrieabfallarten .....	16
Tab. 10: Schwachstellen des Abfallwirtschaftssystems der Industrie-City .....	18
Tab. 11: Phasen des Untersuchungs-und Versuchsprogramms.....	32
Tab. 12: Aufkommen der zu untersuchenden Textilabfälle im Industriegebiet .....	36
Tab. 13: Ergebnisse der Immediatanalyse von Textilabfällen .....	38
Tab. 14: Untersuchungsergebnisse der Elementanalyse von Textilabfällen .....	39
Tab. 15: Brenn- und Heizwert der untersuchten Textilabfälle .....	40
Tab. 16: Massenverluste und charakteristische Temperaturen.....	47
Tab. 17: Stoffzerlegung der Textilabfälle durch die Pyrolyse in der Thermowaage .....	48
Tab. 18: Stoffzerlegung der Textilabfälle durch die Entgasung in „Jenkner-Retorte“ .....	49
Tab. 19: Reaktionsfrontgeschwindigkeit und Zündrate von Textilreststoffen .....	69
Tab. 20: Qualitätskriterien des Kompostes .....	77
Tab. 21: Untersuchte organische Reststoffe aus der Lebensmittelindustrie .....	78
Tab. 22: Analyseergebnisse der Kompostproben .....	81
Tab. 23: Rentabilitätsanalysen der untersuchten Situationen bei der Wirbelschicht- Kesselanlage .....	110
Tab. 24: Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung der Biogasanlagen ..	112
Tab. 25: Rentabilitätsanalysen der untersuchten Situationen bei unterschiedlichen Leistungen der Biogasanlage.....	114

## **Symbolverzeichnis**

### Lateinische Symbole

$A/A_j$	$m^2/-$	Die Fläche/Koeffizient j (j - natürliche Zahl 1,2,3, )
b	h/a	Volllaststundenzahl
$c_{pm,i}$	$kJ/m^3(n)K$	Mittlere spezifische Wärmekapazität der Gaskomponente i
G	€	Gebühr
H	kJ	Enthalpie
h	$kJ/m^3(n)$	spezifische Enthalpie
K	€/a ; €/t	Jährliche Kosten/spezifische Behandlungskosten
M	kg/kmol	Molmasse
m	kg	Masse
P	hPa	Druck
T	°C; K	Temperatur
t	min	Zeit
V	$m^3(n)$	Norm-Volumen

### Griechische Symbole

$\rho$	$kg/m^3; kg/m^3(n)$	Dichte, Normdichte
$\xi_i$	kg/kg	Masseanteil der Komponente i = $m_i/m_{Gesamt}$ (Feststoffe)
$\psi_i$	$m^3/m^3$	Volumenanteil der Komponente i = $V_i/V_{Gesamt}$ (gasförmige Stoffe)
$\lambda$	-	Luftverhältnis

## Indices

### Tiefgestellte Zeichen

A	Asche
a	Anfang des Versuchs/Beginn der thermischen Zersetzung
AG	Abgase
Behand	Behandlung
Bg <sub>ges</sub>	gesamtes entwickeltes Biogas (Biogas aus dem Impfschlamm und Substrat in einem Zeitabschnitt)
Bg <sub>IS</sub>	Biogas aus dem Impfschlamm
Bg <sub>RS</sub>	Biogas aus dem Referenzsubstrat
Bg <sub>Sb</sub>	Biogas aus dem Substrat
Bg <sub>tot</sub>	gesamte entwickelte Biogasmenge aus dem Impfschlamm und Substrat über die gesamte Versuchszeit
Br	Brennstoff
brenn	brennbar
C	Kohlenstoff
Cfix	fixer Kohlenstoff
CH <sub>4</sub>	Methan
CH <sub>4</sub> <sub>ges</sub>	gesamte entwickelte Methanmenge (Methan aus dem Impfschlamm und Substrat in einem Zeitabschnitt)
CH <sub>4</sub> <sub>IS</sub>	Methanmenge aus dem Impfschlamm
CH <sub>4</sub> <sub>sb</sub>	Methanmenge aus dem Substrat
CH <sub>4</sub> <sub>tot</sub>	gesamte entwickelte Methanmenge aus dem Impfschlamm und Substrat über die gesamte Versuchszeit
Cl	Chlor
CO	Kohlenmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid

e	Ende des Versuchs/Ende der thermischen Zersetzung
Entsorg	Entsorgung
f	feucht
F	Flüchtige oder flüchtige Bestandteile
Fl	Flüssige oder flüssige Bestandteile
fr	Fermenter
g	Gas, gasförmig
gelöst	gelöste
gem	gemessen
ges	gesamt
gr	Grund
h	Heizelement
H/H <sub>2</sub>	Wasserstoff
H <sub>2</sub> O	Wasser
i	gasförmige Komponente i [i z.B. in: CO <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> ]
infrast	Infrastruktur
Indust	Industrie/industrielle Grundstücke
IS	Impfschlamm
K	Koks (Asche und fixer Kohlenstoff, verbleibende feste Rückstände nach der Entgasung in der Thermowaage)
Kopf	Kopfraum des Fermenters
Korr.	korrigiert
kr	Klimakammer
L / L <sub>ges</sub>	Luft/gesamte Luft

Logis	Logistik
max	maximal
min.	minimal
mix	Mixtur (eine Mischung)
M <sub>j</sub>	Messstelle j (j – natürliche Zahl 1, 2, 3, ...)
n	Norm
N <sub>2</sub>	Stickstoff
No <sub>x</sub>	Stickstoffoxide (No, No <sub>2</sub> etc.)
O/O <sub>2</sub>	Sauerstoff
oTs	organische trockene Substanz
P	Probe
P <sub>g</sub>	Pyrolysegas (P <sub>g</sub> : wurde als Summe von gasförmigen i und N <sub>2</sub> bezeichnet)
PL	Primärluft
prakt	praktisch
r	Reaktionskammer
R	Rest/Restmasse
ru	Reaktionsumsatz
S	Schwefel
Sb	Substrate
Sch.	Schüttdichte
Sg	Spülgas
SL	Sekundärluft
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
t	Zeitpunkt



tot	total
tr	trocken
V	Verlust
v	Versuch/Verdampfung
va	Variable
w	Wasser/Wasserdampf/Sättigung

Hochgestellte Zeichen

•	Strom
*	spezifisch (V*: spezifisches Volumen l (n)/kg.oTs)

### Maßeinheiten

°C	Grad Celsius
d	Tag
dm <sup>3</sup>	Kubikdezimeter
g	Gramm
h	Stunde
hPa	Hektopascal
K	Kelvin
kg	Kilogramm
kJ	Kilojoule
km	Kilometer
km <sup>2</sup>	Kiloquadratmeter
kWh <sub>el</sub>	elektrische Kilowattstunde
kWh <sub>therm</sub>	thermische Kilowattstunde
l	Liter
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
mg	Milligramm
min	Minute
MJ	Megajoul
ml	Milliliter
mm	Millimeter
MWh	Megawattstunde
Pa	Pascal

ppm	Part per Million
s	Sekunde
t	Ton

## **Abkürzungsverzeichnis**

a	Jahr
Abb.	Abbildung
AbfbG	Abfallbeseitigungsgesetz
AbfG	Abfallgesetz
Abs.	Absatz
BioAbfV	Bioabfallverordnung
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BS	Brennstoff
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CPB	chemisch-physikalische Behandlung
ct.	Cent
d.h.	das heißt
DIN	Deutsches Institut für Normung
DTG	differentielle Thermogravimetrie
EBS	Ersatzbrennstoffe
Einw	Einwohner
etc.	etcetera
FM	Frischmasse
ggf.	gegebenenfalls
Gv	Glühverlust
GvSt	Gewinn vor Steuern
HCl	Chlorwasserstoff

Ho	oberer Heizwert, Brennwert
Hu	unterer Heizwert
i.an	analysenfeucht
i.waf	wasser- und aschefrei
i.wf	wasserfrei
inkl.	inklusive
KrW/AbfG	Kreislaufwirtschaft- und Abfallgesetz
LKW	Lastkraftwagen
LUFA	Die Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt
Mass-%	Massenprozent
max.	Maximum
MBA	mechanisch-biologische Behandlungsanlage
Mio.	Million
MVA	Müllverbrennungsanlage
n.n.	nicht nachweisbar
Nr.	Nummer
oTs	organische trockene Substanz
p.a.	pro Jahr
PE	Polyethylen
RFG	Reaktionsfrontgeschwindigkeit in (mm/min)
S	Substrate
s.	Siehe

SMVA	Sondermüllverbrennungsanlage
T€	Tausend Euro
Tab.	Tabelle
TAsi	technische Anleitung Siedlungsabfall
TGA	Thermogravimetrische Analyse/Thermogravimetrie
TS/TM	Trockensubstanz/Trockenmasse
UNEP	United Nations Environmental Programme
US \$	United States Dollar
usw.	und so weiter
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
Vol.-%	Volumenprozent
z.B.	zum Beispiel
ZR	Zündrate
€	Euro
%	Prozent

## 1 Einleitung und Problemstellung

In Syrien steht die Abfallwirtschaft vor der Bewältigung beträchtlicher Probleme. Starke Bevölkerungszuwächse (jährlich 2,5 %) und zunehmende Urbanisierung (Urbanisierungsgrad 52 %) infolge verstärkter Land-Stadt-Wanderung erhöhen den Druck auf die Abfallentsorgung, die mit diesen Entwicklungen nicht Schritt halten kann. Dies betrifft die Trennung, Behandlung und Entsorgung von Hausmüll sowie von industriellen Abfällen der privaten klein- und mittelständischen Unternehmen und der staatlichen Schwerindustrie. Vor ca. 3 Jahren hat Syrien einen Masterplan für die Abfallwirtschaft erarbeitet, welcher von Frankreich finanziert und von einem französischen Ingenieurbüro erstellt wurde. Bis 2014 sollen ca. 40 Deponien, 100 Behandlungsanlagen und ca. 500 Umschlagstationen gebaut werden (Nassour, Majanny, & Nelles, 2008). Das abfallwirtschaftliche Leitbild einer modernen Industriegesellschaft lässt sich mit den beiden Begriffen Stoffstrommanagement und Kreislaufwirtschaft beschreiben. Für dessen Umsetzung werden Technologien benötigt, die zu einer material- und energieeffizienten Produktion von Waren beitragen. Sind die Güter am Ende ihrer vorgesehenen Nutzungsphase angelangt, müssen wiederum Anlagentechniken zur Verfügung stehen, die eine optimale Verwertung gewährleisten, damit die im Abfall enthaltenen Materialien werkstofflich oder energetisch genutzt werden können. (Cleaner Production Germany, 2009). Darüber hinaus muss eine nachhaltige Stoffwirtschaft sich mit dem gesamten Lebenszyklus der produzierten Waren beschäftigen, von der Rohstoffgewinnung über die Produktion und den Konsum bis zur Rückführung in den Produktionskreislauf oder in die Umwelt. Eine umweltgerechte Produktionsweise arbeitet mit geschlossenen Kreisläufen, minimiert den Energie- und Rohstoffeinsatz und nimmt die Natur zum Vorbild, die all ihre Stoffe wiederverwertet (Marktcheck, 2009). Der Begriff Cleaner Production wurde 1989 von einer UNEP (United Nations Environmental Programme) Expertengruppe geprägt. Cleaner Production ist in der UNEP-Definition die „kontinuierliche Anwendung von vorsorgenden Umweltschutzstrategien auf Prozesse, Produkte und Dienstleistungen mit dem Ziel, die Öko-Effizienz zu erhöhen und die Risiken für Mensch und Umwelt zu verringern“. Das Grundprinzip von Cleaner Production ist es, Abfälle und Emissionen an ihrer Quelle zu vermeiden, Rohstoffe, Wasser, Energie und

damit verbunden auch Kosten einzusparen (Stenum GmbH, 2009). Im Rahmen der industriellen Entwicklungsschritte wurden in Syrien auch vier Industrie-Cities errichtet. Die Industrie-City „Scheich Najar“ in Aleppo wird als die Wichtigste betrachtet, da sich die in Syrien relevanten vorhandenen Industrien in Aleppo konzentrieren. Das zunehmende Umweltbewusstsein und die wachsenden Probleme der Abfallwirtschaft zwingen die politischen Entscheidungsträger der Industrie-City zur Gestaltung einer geordneten Abfallwirtschaft. In einer in den Jahren 2007 und 2008 durchgeführten Untersuchung wurden vielfältige Probleme im Abfallwirtschaftssystem der Industrie-City in Aleppo gefunden. Neben fehlenden notwendigen Gesetzen und Verordnungen sowie aufgrund mangelhafter Finanzierung gibt es weitere Probleme logistischer, organisatorischer und technischer Art. Darüber hinaus existiert aufgrund fehlender Fachkräfte kein Bewusstsein für den richtigen Umgang mit den Industrieabfällen sowie deren Entsorgung. Die Abfallablagerung auf Müllkippen ist zurzeit die Hauptform der Abfallbeseitigung in der Industrie-City. Die Abfälle werden durch die Industrieverwaltung unkontrolliert gesammelt, transportiert und deponiert. Diese unkontrollierte Abfallablagerung hat einen negativen Einfluss auf die Gesundheit der Bevölkerung und bedroht die natürlichen Ressourcen durch die Kontamination von Wasser, Boden und Luft. Die Probleme und Schwachstellen des gegenwärtigen Abfallwirtschaftssystems in der Industrie-City können wie folgt zusammengefasst werden:

- fehlende notwendige Gesetze und Verordnungen,
- Führung des Industriegebiets und zuständige Abteilung sind organisatorisch und fachlich mit der Aufgabe überfordert,
- Mangel an notwendigen technischen und logistischen Systemen (Sammlung, Transport, Behandlungs- und Entsorgungsanlage),
- Finanzierungssystem der Abfallwirtschaft ist nicht nach der Gebührenkostenabdeckung aufgebaut,
- keine getrennte Sammlung und umweltgerechte Entsorgung sämtlicher Abfälle durch geeignete Verfahren und Technologien,
- informeller Sektor ist für Recycling der verkaufsfähigen Materialien zuständig,
- fehlende Fachkräfte in allen Fachrichtungen und Mangel an Bewusstsein für den richtigen Umgang mit den Industrieabfällen sowie deren Entsorgung.



Ein Abfallwirtschaftskonzept, das sozialen und umweltrelevanten Anforderungen genügt, existiert in der Industrie-City Aleppo bislang nicht. Die gesamte Abfallentsorgung einschließlich Aufkommensprognose, Abfallspektrum und Zusammensetzung, Sammlung und Transport, Verwertung, Behandlung bzw. Beseitigung ist ungeklärt. Aus diesem Grund wird die Erstellung eines Abfallwirtschaftskonzepts als die relevante Zielsetzung der Arbeit angesehen. Dadurch sollen folgende Ziele erreicht werden:

- Untersuchung der Ausgangssituation der Abfallwirtschaft (Industrieabfallarten, Menge und Zusammensetzung, vorhandene Sammlungs- und Transportmöglichkeiten, existierende Behandlungs- und Entsorgungswege).
- Erfassung und Quantifizierung der Probleme und Schwachstellen im Abfallwirtschaftssystem.
- Auswahl sowie Untersuchung wichtiger Industriezweige und Festlegung der Entsorgungswege für relevante Stoffströme.
- Erarbeitung eines Vorschlags für die Verbesserung der aktuellen Abfallwirtschaftssituation in der Industrie-City Aleppo.
- Erstellung eines zukünftigen Lösungskonzepts für die Weiterentwicklung des Abfallwirtschaftssystems.

Durch die Realisierung der oben genannten Ziele können Basisdaten erfasst, die wissenschaftliche Grundlage für die Abfallwirtschaft aufgebaut und Möglichkeiten für das Überwinden der gegenwärtigen Probleme und für die Verbesserung der Ausgangssituation geschaffen werden. Die Vorteile der Erstellung eines Abfallwirtschaftskonzepts bestehen ferner darin, die Umwelt durch die Untersuchung und das Auffinden umweltverträglicher Lösungen für die relevanten abfallwirtschaftlichen Probleme zu schützen und das Bewusstsein für den richtigen Umgang mit den Industrieabfällen zu erhöhen.

## 2 Landesspezifische Grundlageninformationen

### 2.1 Generelle Angaben

Syrien grenzt im Süden an Jordanien, im Westen an den Libanon und das Mittelmeer, im Norden an die Türkei und im Osten an den Irak. Mit rund 185.000 Quadratkilometern ist Syrien ungefähr halb so groß wie Deutschland (s. Abb. 1). Die landsspezifischen Informationen von Syrien können wie folgt zusammengefasst werden:

- ⇒ Fläche: 185.180 km<sup>2</sup>
- ⇒ Einwohnerzahl: 18,5 Mio.
- ⇒ Einwohnerdichte: 100 Einw/km<sup>2</sup>
- ⇒ BIP/Einwohner: 1.465 US \$/a (Auswärtiges Amt, 2009)

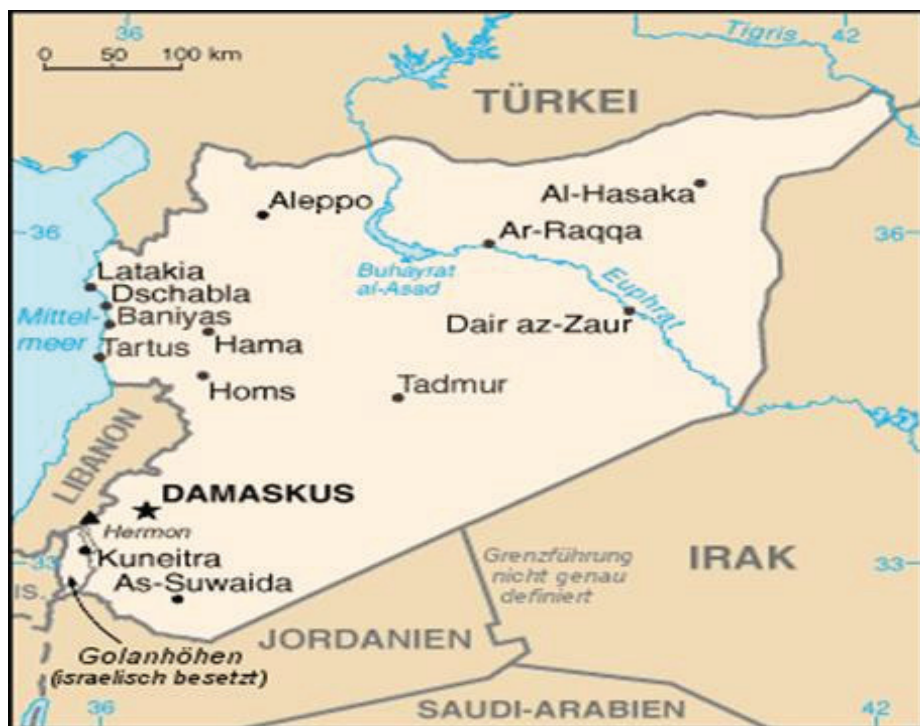


Abb. 1: Landkarte von Syrien(Weltblick, 2009)

## 2.2 Syrische Hauptindustrie

Der Landwirtschaftssektor dominiert die syrische Wirtschaft. Getreide wie z.B. Weizen und Hafer, das besonders viel Regen benötigt, war vom Wachstumsrückgang betroffen. Andere Landwirtschaftsprodukte wie z.B. Baumwolle, deren Wachstum durch die Bewässerungssysteme unterstützt wird, blieben in ihrer Produktion stabil. Die Olivenproduktion stieg um ein Vielfaches in den letzten Jahren, und heute gehört Syrien mit 4 % Weltanteil zu einem der 10 Hauptproduktionsländer der Welt. Der syrische Industriesektor ist relativ gut diversifiziert und die Anzahl privater Industrien ist gestiegen. Hauptexportprodukte sind Olivenöl, Baumwolle, Nahrungsmittel, Textilien. Die Importprodukte sind Maschinen, Fahrzeuge, Chemikalien und chemische Produkte etc. (DHIK, 2009; Auswärtiges Amt, 2009). Textil-, Lebensmittel-, Chemie-, Verarbeitende und Produzierende Industrie, Pharmazeutische Industrie und Gerbereien bilden die Hauptindustrieweige in Syrien. Zur Organisation und Verstärkung der Industrie hat Syrien 4 Industrie-Gebiete in Adra (Damaskus), Scheich Najar (Aleppo), Hussia (Homs) und vor kurzem in Der-elzour etabliert. Die wesentlichen Kenngrößen dieser Industriegebiete sind der Tab. 1 zu entnehmen.

Tab. 1: Wesentliche Kenndaten der Industriegebiete in Syrien

	Fläche in Hektar	Industrieweige
Adra (Damaskus)	7.000	Metallverarbeitende Industrie, Baumaterial, Lebensmittel, Chemie, Textilien etc. Kontaktadresse: <a href="http://www.a-ic.org">www.a-ic.org</a>
Scheich Najar (Aleppo)	4.412	Textilien, Lebensmittel, Chemie, Metallverarbeitende Industrie etc. Kontaktadresse: <a href="http://www.aic.org.sy">www.aic.org.sy</a>
Hassia (Homs)	2500 mit Erweiterungsmöglichkeiten bis 12500	Textilien, Lebensmittel, Maschinenbau, Chemie und Leichtindustrie wie Holzverarbeitung, Plastik, Molkereien Kontaktadresse: <a href="http://www.ic-homs.sy">www.ic-homs.sy</a>
Der-elzour	Die Industrie-City ist im vorigen Jahr gegründet worden und befindet sich noch in der Aufbauphase.	

## **2.3 Allgemeine Einführung in die Abfallwirtschaft in Syrien**

### **2.3.1 Rechtsgrundlagen und Organisationsstruktur**

Die Legislative und Exekutive sind bestrebt, die notwendigen Gesetze zu erlassen, um eine gesetzeskonforme Abfallentsorgung erreichen zu können. Das lokale Verwaltungssystem basiert in Syrien auf der Ermächtigung der lokalen Verwaltungseinheiten zum Erlassen von lokalen Gesetzen. Daraus resultierte 1971 das „Gesetz der lokalen Verwaltung“. Die Ziele des Gesetzes sind:

- Städte tragen die Verantwortung für die Abfallentsorgung,
- direkte Verantwortung der lokalen Verwaltungseinheiten für Wirtschaft, Kultur,
- Sicherheit und Entwicklung,
- Allgemeine Sicherheit, Gesundheit und Entwicklung (TRIVALOR-Studie, 2004; Bauwat, 2006).

Das Ministerium für lokale Angelegenheiten und Umwelt, in dem sich eine Abteilung für die Abfallwirtschaft befindet, ist die höchste Instanz. Den Städten wird die Vollmacht zur Verwaltung und Umsetzung von Abfallwirtschaftsprozessen erteilt. Obwohl die Städte die Verantwortung für die Organisation und Durchführung der Abfallentsorgung übernehmen, werden finanzielle und organisatorische Entscheidungen im Ministerium getroffen. Es wird in den letzten Jahren versucht, den Umweltschutz in der syrischen Politik für die nachhaltige Entwicklung zu berücksichtigen. Für das Regeln der Zusammenarbeit zwischen den Ministerien wird der „höchste Rat für Umweltschutz“ gegründet. Die Umweltaspekte und die Abfallwirtschaft wurden 2002 durch ein „zentrales Gesetz der Umwelt Nummer 50“ geregelt. Im Rahmen der Verbesserung und Entwicklung der Gesetze hat das Ministerium für lokale Verwaltung und Umwelt im Jahr 2004 das Sauberkeitsgesetz (Nummer 49) erlassen, das die Abfallwirtschaft in Syrien regelt. In diesem Gesetz werden die Definitionen für Sauberkeit und Abfälle, die Regelung der Zuständigkeiten, die Organisation, die technischen Ausstattungen und die Schaffung eines Verantwortungsgefühls für die Sauberkeit der Stadt genannt (Bauwat, 2006).

### 2.3.2 Abfallarten, -mengen und -zusammensetzungen

Die Situation der Abfallwirtschaft in Syrien differiert stark von der Abfallwirtschaft in Deutschland. Verschiedene Faktoren wie schwache Organisationsstruktur, schlechte technische Ausstattung, Mangel an Gesetzen und Know-how, unzureichende Finanzierung etc. üben einen Einfluss auf die Abfallwirtschaft in Syrien aus. Das bestehende Abfallmanagementsystem ist nicht in der Lage, eine flächendeckende Entsorgung sicherzustellen. In Syrien fallen alle üblichen Abfallarten an. Die Abfälle können je nach den Abfallerzeugern oder der Herkunft in Hausmüll, Grünabfall, Bauabfall etc. unterschieden werden. Die anfallende Abfallmenge pro Tag beträgt ca. 22.110 t. Es werden ca. 8.000.000 t im Jahr, somit ca. 400 kg pro Einwohner im Jahr erzeugt. Die Menge des anfallenden Hausmülls pro Tag und Einwohner macht 0,6 kg aus. Der Hausmüll wird mit anderen Abfällen gemischt. Dies führt zur Steigerung der anfallenden Menge von Hausmüll pro Einwohner. Tab. 2 veranschaulicht die anfallenden Abfallarten und -mengen.

Tab. 2: Anfallende Abfallarten und -mengen in Syrien (Bauwat, 2006;TRIVALOR-Studie, 2004; META, 2004)

<b>Abfallarten</b>	<b>t/d</b>	<b>t/a</b>	<b>kg/Einw/a</b>
Hausmüll	12.400	4.525.000	225
Kommunaler Bauschutt	2.700	985.500	50
Grünabfall	110	40.150	2
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle	1.100	401.500	20
Bauabfall direkt in die Deponie	5.200	1.898.000	95
Industrieabfälle	600	150.000	8
<b>Total</b>	<b>22.110</b>	<b>8.000.000</b>	<b>400</b>

Die Zusammensetzung des Hausmülls lässt sich wie in der Tab. 3 darstellen. Der organische Anteil ist in Syrien sehr hoch. Er beträgt ca. 57 % und besteht zum Großteil aus Obst-, Gemüse- und Speiseresten. Der Anteil an Holz ist niedrig. Die recyclebaren Materialien wie Plastik, Glas, Papier, Metall, Textilien etc. werden

nicht getrennt gesammelt und nicht optimal verwertet. Die Sonderabfälle inkl. Krankenhausabfälle liegen im Mittel bei 1,7 %. Der Sonderabfall aus Haushalten besteht vorwiegend aus Batterien, Lampen, Haushaltschemikalien und Pestiziden und macht insgesamt weniger als 1 % aus. (Mohamad, 2002; Bauwat 2006).

Tab. 3: Abfallzusammensetzung des syrischen Hausmülls, (Bauwat 2006; TRIVALOR-Studie, 2004; METAP, 2004).

Abfallart	Zusammensetzung in %
Organik	57
Bauschutt	9
Holz	2
Textil	3
Glas	4
Metall	4
Papier	7
Plastik	7
Sonstige	7

### 2.3.3 Aufbereitungs-und Entsorgungsverfahren

Die meisten anfallenden Abfallarten werden in einfachen Mülldeponien ohne Abdichtungssystem abgelagert. Es gibt nur in Damaskus eine Sortieranlage zur Trennung der Organik und Metalle. Die getrennten organischen Fraktionen werden mit Kompostumsetzer kompostiert und in der Landwirtschaft verwertet. In Aleppo und Lattakia gibt es zwei stillgelegte Anlagen für die Sortierung und Kompostierung. In Tartous und Qunitera sind zwei Anlagen in der Bauphase. Für die meisten syrischen Städte sind verschiedene Anlagen (Sortieranlage mit biologischer Stufe und Deponie) in der Ausschreibungsphase. Die Sammlung und der Transport des Abfalls in Syrien kann nach folgenden Merkmalen beschrieben und beurteilt werden (s. Tab. 4).

Tab. 4: Merkmale der Abfallsammlung und des Abfalltransports (Nassour, 2004; Degener, 2000; Beu 2003)

<b>Merkmal</b>	<b>Beschreibung</b>
<b>Abfallart</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ In den Haushalten erfolgt keine Abfalltrennung am Anfallort.</li> <li>⇒ Gewerbe und Industrie trennen geringe Mengen an recyclingbaren Stoffen.</li> </ul>
<b>Zuständigkeit und Verantwortlichkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Kommunale Verwaltungsstruktur</li> </ul>
<b>Betrieb der Abfallsammlung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Kommunale Unternehmen in den großen Städten.</li> <li>⇒ Trend zu Privatunternehmen.</li> <li>⇒ Zurzeit arbeiten Privatunternehmen in Stadtteilen und in der Umgebung großer Städte.</li> <li>⇒ Den Transport von der Umschlagstation zur Deponierung/ Aufbereitung übernehmen Privatunternehmen.</li> </ul>
<b>Art der Sammlung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Einwohner bringen in der Regel die Abfälle in Plastikbeuteln zu den Containern, oder Abfallsammler holen die Abfälle für ein kleines Entgelt aus den Haushalten ab.</li> <li>⇒ In schmalen Straßen („Souk“) werden Abfälle von Straßenkehrern gesammelt. Für das Sammeln dieser Abfälle werden Pickups eingesetzt.</li> <li>⇒ Der Abfall wird direkt von den Geschäftsinhabern in die Sammelfahrzeuge entsorgt.</li> <li>⇒ Größere Unternehmen, Krankenhäuser und umliegende Dörfer bringen die Abfälle direkt auf die Deponie.</li> <li>⇒ Die vorhandenen alten Siedlungsstrukturen erschweren die Abfallsammlung sowie den Einsatz von Sammelfahrzeugen.</li> </ul>
<b>Behälter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Meistens werden lokal hergestellte Stahlcontainer mit einem Volumen von 0,57 bis 1,1 m<sup>3</sup> und lokal hergestellte 120-l- und 240-l-Plastikbehälter (nur für Gewerbe und Industrie) verwendet.</li> <li>⇒ Das Gesamtvolumen der Container ist nicht ausreichend. Aus diesem Grund werden Abfälle neben den bereitgestellten Containern auf der Straße abgelagert.</li> <li>⇒ Die Behälter werden öffentlich auf die Straße gestellt (nicht auf Häuser oder Einwohner bezogen).</li> </ul>
<b>Fahrzeuge/ Transportmittel Umschlagstation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Je nach verfügbaren Finanzen und Techniken (Müllsammelfahrzeug, LKW, Traktor, etc.); ca. 6 Müllsammelfahrzeuge für 100.000 Einwohner.</li> <li>⇒ In den Umschlagstationen der großen Städte werden nur LKW (25 m<sup>3</sup>) eingesetzt.</li> <li>⇒ Hausmüll aus den großen Städten wird mit Müllsammelfahrzeugen mit einem Volumen von 18 m<sup>3</sup> gesammelt. In den kleinen Straßen und im Gewerbe werden kleine Müllsammelfahrzeuge – LKW mit einem Volumen von 3-7 m<sup>3</sup> eingesetzt. Im ländlichen Raum erfolgen Sammlung und Transport mit LKW und Traktoren</li> </ul>

---

Sammlungsintervall	⇒ Die Abfallsammlung erfolgt in den meisten Städten mindestens einmal, manchmal dreimal pro Tag. ⇒ Ca. 50 % der Städte arbeiten im 2-3-Schichtbetrieb. ⇒ Ca. 50 % der Städte arbeiten im 1-Schichtbetrieb.
Einkommen	⇒ Das monatliche Einkommen der Abfallsammler beträgt zwischen 60 bis 160 €. ⇒ Aufgrund der geringen sozialen Akzeptanz für den Umgang mit Abfällen wird ein Bonus von 80 bis 100 % gezahlt. Als besonderer Bonus werden den Arbeitern jeden Tag zwei Eier und ein Viertel Liter Milch gegeben. ⇒ Arbeits-, Regen- und Freizeitbekleidung werden ebenfalls vom Arbeitgeber gestellt.
Mitarbeiter	⇒ Die beschäftigten Personen sind meistens nicht ausgebildet.
Kosten	⇒ Die Kosten pro Ton werden auf ca. 5-10 € geschätzt.



### 3 Ist-Stand der Abfallwirtschaftssituation der Industrie-City in Aleppo

#### 3.1 Allgemeine technische und organisatorische Informationen

Die Industrie-City in Aleppo wurde im Jahr 2004 gegründet. Sie liegt im Nordosten der Stadt Aleppo, ca. 15 km vom Stadtzentrum entfernt und erstreckt sich über eine Gesamtfläche von 4.412 Hektar. Außerdem nimmt sie einen strategischen Standort ein: Sie ist 12 km vom internationalen Flughafen Aleppo entfernt, und es gibt die Möglichkeit, die Stadt mit der Bahn zu erreichen. Abb. 2 gibt eine Übersicht über die Struktur der Industrie-City.



Abb. 2: Grafische Darstellung der Flächennutzung in der Industrie-City

Die Gesamtfläche der Industrie-City ist in 5 Teile gegliedert. Tab. 5 stellt die Flächennutzung der Industrie-City dar.

Tab. 5: Tabellarische Übersicht zur Flächennutzung der Industrie-City

<b>Teil</b>	<b>Fläche in Hektar</b>	<b>Anteil an gesamter Fläche in %</b>
Industrielle Grundstücke	1.985	45
Grünflächen	1.138	26
Wohngebiet	849	19
Hauptstraßen	320	7
Verwaltungszentrum und kommerzielles Zentrum	120	3

Um den vollständigen Ausbau der Industrie-City mitsamt der benötigten Infrastrukturen bis zum Jahre 2020 zu gewährleisten, wurden von der Verwaltung der Industrie-City drei Entwicklungspläne, die jeweils einen Zeitraum von 5 Jahren umfassen, erarbeitet. In den geplanten Wohngebieten sollen bis zum Jahr 2020 für maximal 250.000 Personen (Mitarbeiter der Industrie-City und ihre Familien) Wohnungen gebaut werden. Außerdem wird die Industrie-City mit einer technischen und sozialen Infrastruktur ausgestattet (s. Tab. 6).

Tab. 6: Übersicht zur technischen und sozialen Infrastruktur

<b>Technische Infrastruktur</b>	<b>Soziale Infrastruktur</b>
Trinkwassernetz	Bildungseinrichtungen
Brauchwassernetz	Forschungseinrichtungen
Elektrizitätsnetz	Dienstleistungsangebote
Abwassernetz	Öffentliche Sicherheit (Feuerwehr, Polizei)
Kommunikationsnetz (Telefon, Internet)	Juristische Einrichtungen (Gericht, Kanzlei)
Verkehrsnetz (Straßennetz, Radwege,)	Verwaltung
Treibstoffe	Krankenhäuser, Klinik
Öffentliche Gebäude	Kulturelle Einrichtungen (Ausstellungsgelände)

Die soziale Infrastruktur ist auf das Verwaltungszentrum und das kommerzielle Zentrum verteilt. Die Industrie-City umfasst 6.122 Grundstücke und gliedert sich in drei Bereiche, die Industriegebiet 1, 2 und 3 genannt werden. Diese drei Industriegebiete unterscheiden sich durch die Größe ihrer Grundstücke. Die größten Grundstücke befinden sich im Industriegebiet 3 und haben eine Fläche von bis zu 15.000 m<sup>2</sup>, während die kleinsten Grundstücke im Industriegebiet 1 vorhanden sind und eine Fläche von mindestens 450 m<sup>2</sup> haben (Rath & Majanny, 2008). Tab. 7 veranschaulicht die Fläche und Grundstückszahl jedes Gebietes.

Tab. 7: Übersicht über Fläche und Anzahl der Grundstücke der Industriegebiete

Industrielle Gebiete	Fläche in Hektar	Anzahl der Grundstücke
Gebiet 1 (Kleine Betriebe)	<b>394</b>	<b>3402</b>
Gebiet 2 (Mittlere Betriebe)	<b>579</b>	<b>1850</b>
Gebiet 3 (Große Betriebe)	<b>1012</b>	<b>870</b>

### 3.2 Relevante Industriezweige

Die Industriezweige in der Industrie-City teilen sich im Wesentlichen in die folgenden vier Gruppen: Textilindustrie, Lebensmittelindustrie, Chemische Industrie und Verarbeitende und produzierende Industrie. Jeder Industriezweig besteht aus mehreren Branchen, in denen verschiedene Produkte für die Ausfuhr oder für den Konsum in Syrien hergestellt werden. Die wichtigsten Branchen jedes Industriezweiges sind in Abb. 3 dargestellt.

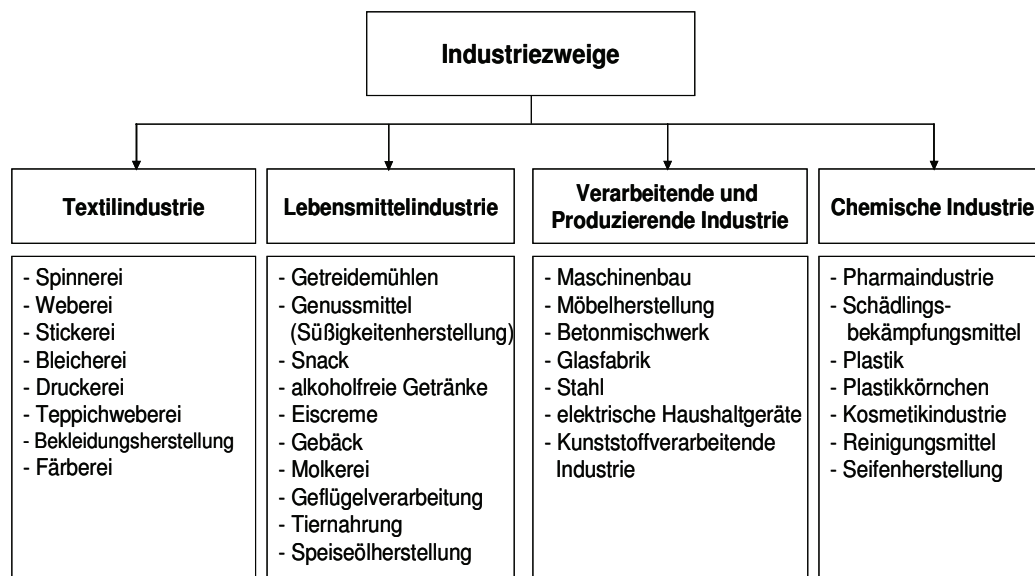


Abb. 3: Branchen der relevanten Industriebranche

Es liegen Daten über die Anzahl der Betriebe jedes Industriezweiges bis zum 31.12.2009 vor (s. Tab. 8).

Tab. 8: Übersicht zur Anzahl der Industriebetriebe

Industriebranche	Produktionsphase	Bau-und Genehmigungsphase
Textil	185	576
Lebensmittel	65	216
Chemie	62	264
Verarbeitende und Produzierende Industrie	94	449
<b>Summe</b>	<b>406</b>	<b>1505</b>

### 3.3 Aktueller Stand der Abfallwirtschaft im Industriegebiet

Die abfallwirtschaftlichen Untersuchungen wurden in den Jahren 2007 und 2008 durchgeführt. Während der ersten Phase wurden insgesamt 49 Betriebe aus allen Industriezweigen in der Industrie-City in Aleppo untersucht. Für die Auswahl fanden folgende Faktoren Berücksichtigung: Wichtigkeit der Branche, Betriebsfläche, Produktionsumsatz, Mitarbeiteranzahl und angewendetes Schichtsystem.

Für die durchgeführten Untersuchungen wurde ein abfallwirtschaftlicher Fragebogen erarbeitet, der bei der Besichtigung der Betriebe ausgefüllt wurde. Dadurch konnte ein guter Überblick über anfallende Abfallarten und -mengen, vorhandene Sammlungs- und Transportmöglichkeiten und existierende Behandlungs- und Entsorgungswege erhalten werden. Die Untersuchungsergebnisse dieser Phase haben gezeigt, dass die anfallenden Abfallarten in der Industrie-City nach ihrer Form in flüssige, feste und gasförmige Abfälle unterteilt werden können. Im Rahmen dieser Arbeit werden feste Industrieabfälle thematisiert sowie die Abfallwirtschaftssituation für diese in der Industrie-City analysiert. Bei der Untersuchung wurde festgestellt, dass die anfallenden festen Industrieabfälle aus der Industrie-City ähnlich wie in Deutschland klassifiziert werden können. Abb. 4 veranschaulicht die Unterteilung von festen Industrieabfällen und Tab. 9 gibt eine Übersicht über die im Rahmen der Untersuchungen festgestellten Industrieabfallarten.

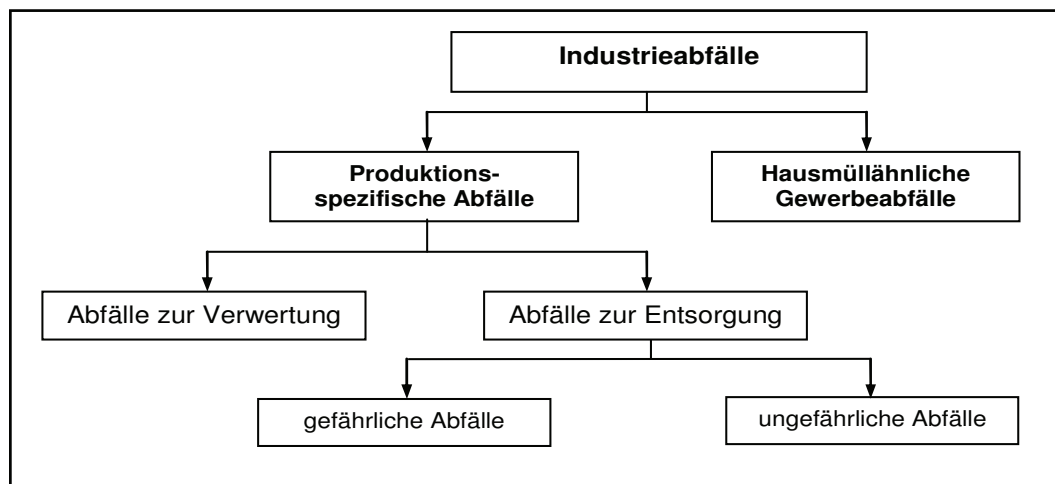


Abb. 4: Fließbild zur Unterteilung von Industrieabfällen

Tab. 9: Gegenwärtig vorhandene verwertbare und zu entsorgende Industrieabfallarten

Abfälle zur Beseitigung	Abfälle zur Verwertung
⇒ Betonreste	⇒ Verbundverpackung
⇒ Bimsstein	⇒ Papier
⇒ Wischtücher	⇒ Plastik- und Gewebesäcke
⇒ Salzhaltige Abfälle	⇒ Kartonagen
⇒ Holzspäne	⇒ Glasreste
⇒ Schlachtabfälle, Fleisch, Blut, Knochen etc.	⇒ Metallspäne
⇒ Betriebskehrricht	⇒ Gewebe- und Metallband
⇒ Ölhaltige Abfälle	⇒ Kunststoffreste
⇒ Einige Kunststoffarten aus der Schuhproduktion	⇒ Deckelfässer aus Kunststoff, Pappe und Metall
⇒ Textilabfälle: Teppichrückstände, Faden-Faserreste, Webstoffe, Druckereiabfälle, Gummibänder	⇒ Spindeln aus Pappe und aus Kunststoff
⇒ Bodenbestandteile, mineralische Stoffe, kleine Steine und Pflanzenreste aus Getreidereinigung	⇒ Fässer aus Metall- und aus Kartonagen
⇒ Getreiderückstände; Spelzen, Schalen von Getreide, kleine Getreide, Pflanzenreste	⇒ Metalle (Aluminium, Eisen, Kupfer etc.)
⇒ Chemisch belastete Plastik- und Gewebesäcke und Fässer	⇒ Einige Textilabfallarten (reine Kunststofffasern)
⇒ Schlamm aus der Abwasserbehandlungsanlage insbesondere bei Lebensmitteln und Chemie	⇒ Lebensmittelrückstände zur Fütterung
⇒ Bioabfälle, Küchen aus hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen	

Bei den Untersuchungen wurde festgestellt, dass die Abfälle nicht getrennt erfasst und gesammelt wurden. Es erfolgt keine Trennung nach hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen und produktionsspezifischen Abfällen, sowie gefährlichen und nicht-gefährlichen Stoffen, d.h. alle Abfälle wurden in den gleichen Behältern mit einem Fassungsvermögen von 240 l gemischt erfasst und nach dem Holprinzip gesammelt. Ein Grund dafür ist, dass den Betrieben keine für alle Abfallarten benötigten Sammelbehälter in ausreichendem Maße zur Verfügung gestellt wurden. Zum Beispiel gab es keine Sammelbehälter für anfallende gefährliche

Abfälle und Schlamm. Außerdem war das Volumen der vorhandenen Sammelbehälter nicht ausreichend für die anfallenden Mengen. Weil keine ausreichenden speziellen Abfallsammel- und Transportfahrzeuge zur Verfügung standen, wurden die Abfälle mit anderen gebräuchlichen, nicht speziell für diese Aufgabe geeigneten, Fahrzeugen wie z.B. Traktoren gesammelt und direkt abtransportiert. Außerdem wurden alle gesammelten Abfälle zusammen auf einer Mülldeponie abgelagert, die den einzigen Entsorgungsweg für die in der Industrie-City anfallenden Abfälle darstellt. Die Finanzierungsstruktur der Industrie-City ist nicht differenziert genug. Die Unternehmen bezahlen der Industrieverwaltung das so genannte Sauberkeitssteuergeld als Gebühr für die Entsorgung ihrer Abfälle. Diese Gebühr ist immer gleich hoch und richtet sich nicht nach der Menge und Art der anfallenden Industrieabfälle. Ein Unternehmen, bei dem z.B. viele und gefährliche Abfälle erzeugt werden, bezahlt die gleichen Geldbeträge für die Entsorgung wie ein Unternehmen, bei dem nur ungefährliche Abfälle in kleineren Mengen anfallen. Weiterhin werden alle Betriebe, die sich in der Industrie-City ansiedeln, in den ersten fünf Jahren von sämtlichen Steuern und Gebühren befreit. Diese Maßnahme soll neue Investitionen in der Industrie-City fördern, ist aber ein weiterer Grund für die Unterfinanzierung des Abfallwirtschaftssystems. Letztendlich werden in der Industrie-City in Aleppo einige Maßnahmen für den Umweltschutz ergriffen. Diese Maßnahmen schützen insbesondere Boden, Wasser und Luft und sind von Betrieb zu Betrieb unterschiedlich. Die Betriebe, die Wasser während des Produktionsprozesses verwenden, sind verpflichtet, das Abwasser vor der Einleitung in die Kanalisation innerbetrieblich zu behandeln. Ebenfalls sollen die Betriebe, aus denen durch die Produktion die Abgase entstehen, mit Absaugvorrichtungen, Filtern und Abgasreinigungsanlagen ausgerüstet werden. Alle Betriebe legen der Industrieverwaltung darüber hinaus während des Genehmigungsprozesses eine Umweltverträglichkeitsstudie vor. Dadurch wird auch sichergestellt, dass der Einsatz toxischer Stoffe bei der Produktion vermieden wird. Die Umsetzung der Umweltmaßnahmen sind nicht zufriedenstellen. Es müssen dringend organisatorische und technische Maßnahmen realisiert werden.

### 3.4 Schwachstellen und relevante Probleme des Abfallwirtschaftssystems

Die in den Jahren 2007 und 2008 durchgeführten Untersuchungen haben aufgezeigt, dass das aktuelle Abfallwirtschaftssystem einer Vielzahl von Schwachstellen unterliegt, die auf Mängel in der Organisation, in der technischen Umsetzung und in der Finanzierung zurückzuführen sind. Tab. 10 gibt eine Übersicht über die gegenwärtig existierenden Schwachstellen bzw. Probleme der Abfallwirtschaft der Industrie-City.

Tab. 10: Schwachstellen des Abfallwirtschaftssystems der Industrie-City

<b>Merkmale</b>	<b>Beschreibung</b>
<b>Gesetze/ Verordnungen</b>	⇒ Mangel an Gesetzen und Verordnungen
<b>Organisation</b>	⇒ Fehlende Zuständigkeit und Verantwortung ⇒ Es gibt keine spezielle Abteilung für die Abfallwirtschaft ⇒ Es besteht Bedarf an weiterem Personal
<b>Organisierte Logistik und Entsorgung</b>	⇒ Mangel an technischen und logistischen Ausstattungen (Behälter, Fahrzeuge) ⇒ Es gibt nur zwei Müllpressfahrzeuge und einen Traktor für die Abfallsammlung aus dem gesamten Industriegebiet. ⇒ Bereitgestellte Behälter mit Fassungsvermögen 240 l sind sehr klein und ungeeignet für die meisten Betriebe. ⇒ Fehlende spezielle Behälter für die Sammlung flüssiger und gefährlicher Abfälle.
<b>Sammlung/ Transport</b>	⇒ Keine getrennte Sammlung/gemischte Erfassung ⇒ Unregelmäßige Sammlung und Transport. ⇒ Manchmal übernehmen die Betriebe die Abfallsammlung und den Transport. ⇒ Gesammelte Abfälle wurden direkt in die Deponie transportiert
<b>Behandlung/ Entsorgung</b>	⇒ Lagerung sämtlicher Abfälle auf einer Deponie. ⇒ Fehlende andere Behandlungswege wie biologische oder thermische Verfahren. ⇒ Recyclebare Abfälle wurden durch informellen Sektor im Deponierungsort aussortiert und vermarktet.
<b>Finanzen</b>	⇒ Das Abfallgebührensysteem ist nicht nach dem Verursacherprinzip gestaltet. ⇒ Abfallgebühren werden durch allgemeine Steuern bezahlt und können nicht alle notwendigen Kosten der Entsorgungsprozesse abdecken. ⇒ Alle Betriebe bezahlen die gleichen Geldbeträge für die Entsorgung. ⇒ Die Gebühren sind unabhängig von Abfallart und -menge.



## Ist-Stand der Abfallwirtschaftssituation der Industrie-City in Aleppo

---

<b>Fachwesen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Fehlende Erfahrungen für den richtigen Umgang mit Industrieabfällen sowie deren Entsorgung.</li><li>⇒ Hoher Bedarf an geeigneten Fachkräften.</li></ul>
------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Zur Lösung vorhandener Probleme und Reduzierung der Umweltbelastungen sollen gesetzliche, technische, finanzielle und organisatorische Maßnahmen ergriffen werden, die im Rahmen dieser Arbeit genau beschrieben und vorgestellt werden.

## 4 Stand des Umgangs mit den Haushalts- sowie Industrieabfällen in Deutschland

### 4.1 Einführung in die Abfallwirtschaft in Deutschland

#### 4.1.1 Definition und Teilsysteme der Abfallwirtschaft

Die Abfallwirtschaft umfasst rechtliche, organisatorische, technische und kaufmännische Systeme zur umweltgerechten Verwertung und Entsorgung der Abfälle aus Industrie, Gewerbe und Siedlungen. Die Abfälle werden überall in der Gesellschaft anfallen. Die Prozesse der Abfallentstehung können wie in der Abb. 5 gegliedert werden (Nassour, 2005). In der Vergangenheit wurde die Abfallwirtschaft im letzten Prozess betrachtet aber derzeit wird sie während der Rohstoffgewinnung und Produktion gesteuert.

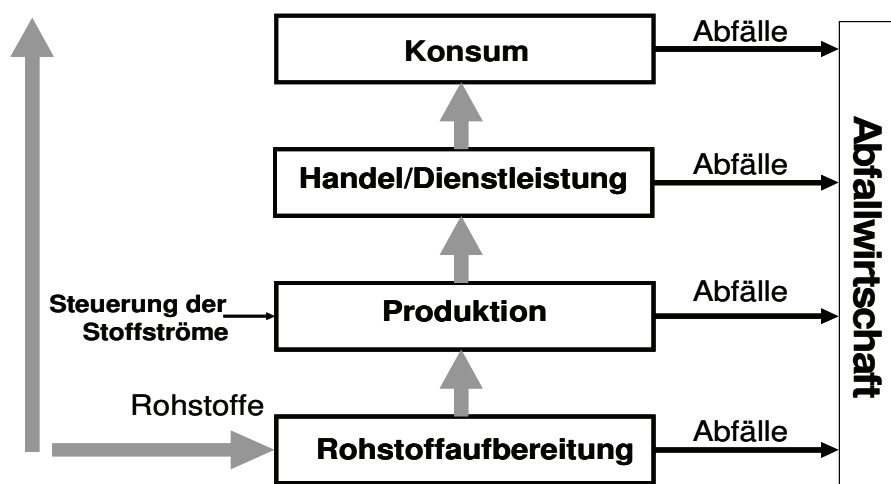


Abb. 5: Stellung der Abfallwirtschaft in der Volkswirtschaft (Nassour, 2005)

Abfälle lassen sich nach ihrer Form in fest, flüssig und pastös und nach ihren Herkunftsbereichen in Siedlungs-, Gewerbe- und Industrieabfälle klassifizieren. Der Siedlungsabfall ist ein Oberbegriff, der durch die technische Anleitung Siedlungsabfall vom Mai 1993 genau definiert wird. Hiernach unterscheidet man folgende Hauptgruppen: Hausmüll, Sperrmüll, hausmüllähnliche Gewerbeabfälle, Garten- und Parkabfälle, Bauabfälle, Rückstände aus Wasser- und Abwasserbehandlung wie Klärschlamm, Rechengut, Fäkalien, Garten-, Park- und

Marktabfälle und Straßenkehricht (TASi, 1993). Neben den Siedlungsabfällen, deren Abfallhauptgruppen, wie z.B. hausmüllähnliche Gewerbeabfälle und Bauabfälle, häufig auch im Bereich Gewerbe und Industrie anzutreffen sind, können vier typische Hauptgruppen der Gewerbe- und Produktionsabfälle festgestellt werden. Das sind Sonderabfälle, produktionsspezifische Abfälle, Krankenhausabfälle und Bergmaterial. Darüber hinaus existieren noch einige weitere spezielle Abfallarten wie beispielsweise Elektro- und Elektronikschrott und Aowracks. Diese Abfälle können sowohl aus privaten Haushalten als auch aus Gewerbe- und Produktionsbetrieben anfallen (Jansen, Berken, & Kötter, 1998). Die Abfallwirtschaft lässt sich je nach Aufgaben- bzw. Zielstellung in verschiedene Teilsysteme gliedern, die sich bei der Umsetzung wiederfinden und herauskristallisieren. Man unterscheidet in: Anfallort, Sammlung, Transport, Aufbereitung oder Behandlung, Verwertung und Beseitigung (Nassour, 2005). Die Abb. 6 stellt die Subsysteme der Abfallwirtschaft und deren Verknüpfung dar.

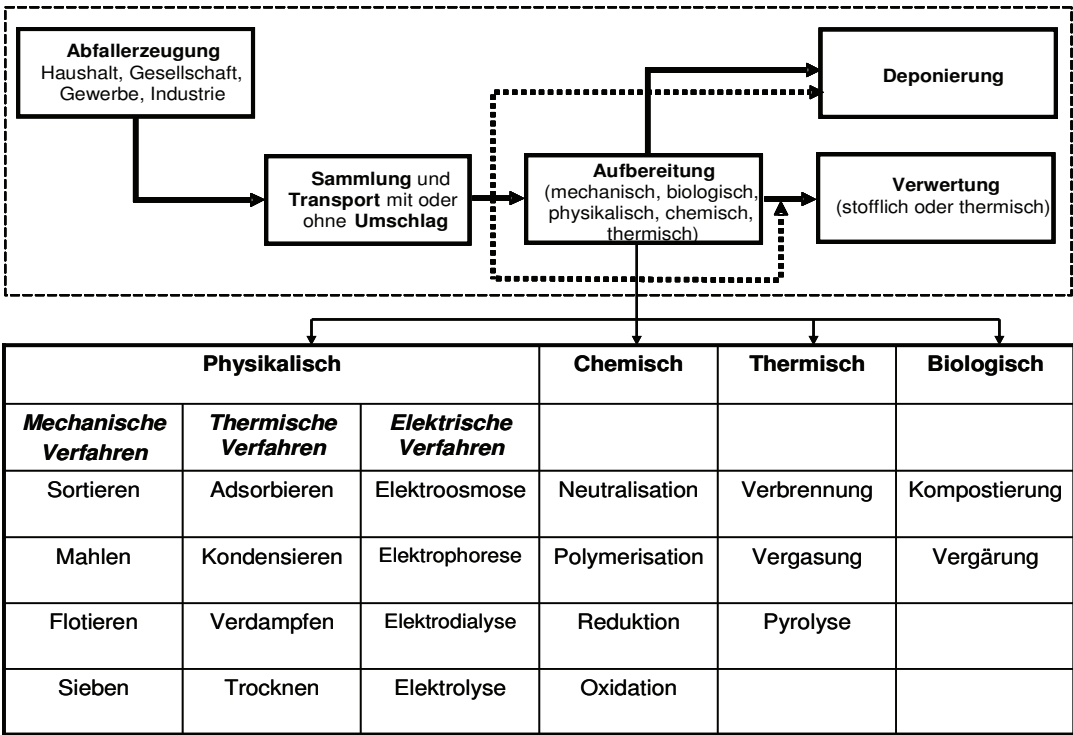


Abb. 6: Subsysteme der Abfallwirtschaft



Abb. 7: Entwicklung und weitere Ziele der Abfallwirtschaft in Deutschland (Nassour, 2005)

Vor dem ersten Abfallgesetz wurde die Abfallentsorgung durch Gesetze, wie das Wasserhaushaltsgesetz und das Bundesseuchengesetz kontrolliert und geregelt (Fritsch, 1996). Die Entsorgung des Hausmülls wurde von Gemeinden und selten von kommunalen Zweckverbänden übernommen (Köller, 1990). Die Beseitigung von Gewerbe- und Industrieabfällen wurde seinerzeit von der kommunalen Entsorgung ausgeschlossen, und sie wurde vom Verursacher nach dem Verursacherprinzip übernommen (Köller, 1993). Die Abfälle wurden auf Müllkippen abgelagert. Es gab damals etwa 50.000 Müllkippen in ganz Deutschland. Ihre Zahl

wurde in den achtziger und neunziger Jahren drastisch unter 2.000 reduziert und ihre Errichtung und ihr Betrieb streng geregelt (BMU, 2009). Das erste Abfallgesetz trat im Jahr 1972 in Kraft und wurde als Abfallbeseitigungsgesetz (AbfbG) bezeichnet. Die Abfallbeseitigung war der Oberbegriff für die Sammlung und Ablagerung von Abfällen (Rabanus, 1993). Die Priorität dieses Gesetzes war damals die Ordnung der Abfallbeseitigung. Es fehlten weiterhin Instrumente zur Verringerung der Abfallmenge, Verwertung von Abfällen sowie Ausnutzung ihres Energiegehalts (Hansen, 1995). Mit der Zeit wurde das Abfallgesetz unzählige Male novelliert. Es wurde bei der vierten Novelle 1986 „Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen“ (kurz: Abfallgesetz oder AbfG) genannt (Hermann, Karsten, Pant, Plickert, & Thrän, 1997). Das vorrangige Ziel des Abfallgesetzes ist die Vermeidung von Abfällen. Weiter verlangt es bei der Entsorgung, die Abfälle zunächst zu verwerten und nicht verwertbare Abfälle sicher abzulagern (Schöne, 1991). Ende der 1980er und Anfang der 1990er Jahre wurden wesentliche Fortschritte in der Abfallwirtschaft erreicht. Im Rahmen der Entwicklung wurde die Idee eingeführt, die Abfallwirtschaft in geschlossenen Kreisläufen durchzuführen. Die Annahme des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes (KrW-/AbfG) am 8.07.1994, das anschließend am 7.10.1996 das alte Recht ablöste und der Erlass des untergesetzlichen Regelwerks zum KrW-/AbfG wurden als entscheidender Schritt im Rahmen der Entwicklung des Abfallrechts betrachtet (Scherer-Leydecker, 2002). Die Grundsätze des Kreislaufwirtschaftsgesetzes werden in § 4 Abs. 1 festgelegt. Dabei wird der Abfallvermeidung wie bereits im AbfG von 1986 der oberste Rang eingeräumt. Stoffliche und energetische Verwertung folgen gemeinsam auf Rang zwei. An dritter Stelle kommt die Abfallbeseitigung (Köller, 1996). Die allgemeinen Pflichten des KrW-/AbfGs werden durch eine Reihe von Rechtsverordnungen konkretisiert. Hierzu zählen insbesondere die Regelungen zur Produktverantwortung (Verpackungen, Batterien, Altfahrzeuge, Altöl, elektrische und elektronische Geräte), die Anforderungen an eine umweltverträgliche Verwertung von Abfällen (Bioabfallverordnung, Gewerbeabfallverordnung, Altholzverordnung, Bergversatzverordnung und Deponieverwertungsverordnung) sowie Anforderungen an die umweltverträgliche Abfallbeseitigung (Ablagerungsverordnung und Deponie-

verordnung) (Fischer, Jaron, & Schulz, 2007). Das KrW-/AbfG und die zugehörigen Rechtsverordnungen stellen einen bedeutenden Schritt von der Beseitigungswirtschaft zur Kreislaufwirtschaft dar (BMU, 2004). Die Abfallwirtschaft in Deutschland wird ständig optimiert und weiterentwickelt. Als Beispiel ist der Bereich „Siedlungsabfälle“ zu nennen. Bereits seit dem 1. Juni 2005 ist die Ablagerung nicht vorbehandelter Siedlungsabfälle verboten und als weiterer zukünftiger Entwicklungsschritt soll die Deponierung von Siedlungsabfällen bis 2020 vollständig eingestellt werden (UBA, 2009).

## **4.2 Organisation der Abfallwirtschaft in Deutschland**

Die Organisation in der Abfallwirtschaft richtet sich hauptsächlich nach den Grundsätzen des KrW-/AbfGs: Vermeidung vor Verwertung vor Beseitigung. Das KrW-/AbfG legt die Mindestanforderungen an die Abfallentsorgung fest. Die Ergänzung des Gesetzes bzw. der Abfallentsorgung wird durch weitere Verordnungen realisiert. Durch diese Verordnungen wird die Entsorgung bestimmter Abfallarten geregelt, wie z.B. Bioabfälle, Altöl, Altholz etc.

Im KrW-/AbfG wird die Pflicht zur Entsorgung von Abfällen geregelt. Die Städte und Gemeinden übertragen dem öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger die Entsorgungspflicht. Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger sind die Landkreise und die kreisfreien Städte (§ 13) und die gebildeten Abfallverbände (Piehl & Süselbeck, 1998). Sie haben die in ihrem Gebiet angefallenen und überlassenen Abfälle aus privaten Haushalten und Abfälle aus anderen Herkunftsbereichen zu verwerten und zu beseitigen (§ 15 Abs. 1). Die Überlassungspflichten an die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger werden im § 13 Abs. 1 des KrW-/AbfGs geregelt und abgegrenzt. Gemäß dem Gesetz sind die Erzeuger oder Besitzer aus privaten Haushalten verpflichtet, ihre Abfälle den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern zu überlassen, wenn sie nicht in der Lage sind, ihre Abfälle zu verwerten oder dies nicht beabsichtigen. Die Überlassungspflicht gilt auch für Erzeuger und Besitzer von Abfällen aus anderen Herkunftsbereichen, soweit sie diese nicht in eigenen Anlagen beseitigen oder überwiegend öffentliche

Interessen eine Überlassung erfordern (Koch & Reese, 2002). Nach § 13 Abs. 2 besteht die Überlassungspflicht gegenüber den öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern nicht, wenn Dritten oder privaten Entsorgungsträgern Pflichten zur Verwertung und Beseitigung übertragen worden sind. Die Überlassungspflicht besteht nicht für Abfälle, die einer Rücknahme- oder Rückgabepflicht unterliegen und die auch nicht nach Art, Menge und Beschaffenheit zusammen mit Hausmüll entsorgt werden können. Für die Verwertung der Abfälle aus anderen Herkunftsbereichen sind die privaten Entsorgungsträger verantwortlich (Cantner, 1997).

Der so genannte Dritte kann jede rechtsfähige Person des privaten und öffentlichen Rechts sein, z.B. ein privates Entsorgungsunternehmen, ein öffentlich-rechtlicher Zweckverband oder eine kreisangehörige Gemeinde (Hermann et al., 1997). Die privaten Entsorgungsträger sind gemäß § 17 KrW-/AbfG die Verbände, die durch die Besitzer und Erzeuger von Abfällen aus gewerblichen sowie sonstigen wirtschaftlichen Unternehmen oder öffentlichen Einrichtungen wie Industrie- und Handelskammern gegründet wurden (Fritsch, 1996; Hermann et al., 1997).

Die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger können nach § 16 Dritte beauftragen. Wird ein Dritter nach § 16 Abs. 1 mit der Erfüllung der Entsorgungspflichten beauftragt, bleibt der Auftraggeber verantwortlich. Überträgt ein öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger die Pflichten nach § 16 Abs. 2 auf einen Dritten, hat dies befreiende Wirkung (Köller, 1996). Im letzten Fall hat der öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger die Aufgabe, die Entsorgungspflichtigen zu überwachen (Fritsch, 1996). Außerdem können öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger gemäß § 16 Abs. 2 die Aufgaben der Entsorgung auf einen Dritten ganz oder teilweise übertragen (Jansen et al., 1998). Diese Übertragung muss auch gemäß § 16 Abs. 4 befristet sein. Bei der Übertragung und Beauftragung muss der Dritte bestimmte Voraussetzungen erfüllen. Er muss gemäß § 16 Abs. 1 über die erforderliche Zuverlässigkeit und über ausreichend fachkundiges Personal verfügen.

## **4.3 Entsorgungslogistik**

### **4.3.1 Hauptelemente der Entsorgungslogistik**

Die Entsorgungslogistik lässt sich in die technische und die organisatorische Entsorgungslogistik unterteilen. Die technische Entsorgungslogistik umfasst die technischen Systeme (Behälter, Sammel- und Transportfahrzeuge etc.) zur Bewältigung der entsorgungslogistischen Prozesse. Sie ist aus dem Gesichtspunkt der Investition als „kapitalintensiv“ zu betrachten. Die organisatorische Entsorgungslogistik beinhaltet die Planung, Steuerung und Kontrolle der Einsetzbarkeit der technischen Systeme, welche die Wirtschaftlichkeit eines Entsorgungslogistiksystems beeinflussen (Nassour, 2004). Im Rahmen der Entsorgungslogistik laufen hintereinander mehrere Prozesse ab. Zu den entsorgungslogistischen Teilprozessen zählen die so genannten STULB-Prozesse, die sich in Erfassung, Sammlung, Transport, Umschlag, Lagerung und Behandlung einteilen lassen (Wehking, 1996). Der Bereich Sammlung-Umschlag-Transport spielt eine wichtige und häufig unterschätzte Rolle im System der Abfallwirtschaft. Immerhin verursacht er etwa 30 bis 40 % der Gesamtkosten der Abfallbeseitigung und bietet damit bei Verbesserung in Organisation und Durchführung erhebliche Einsparmöglichkeiten (Bilitewski, Härdtle, & Marek, 2000).

Für das Sammeln des Abfalls ist eine Körperschaft (Kommune) zuständig, die oft private Entsorgungsunternehmen beauftragt. Zur optimalen Erfassung und Sammlung müssen Kenntnisse über die Größe des Gebiets, die Wirtschafts-, Sozial- und Verkehrsstruktur und die Art der Bebauung in die Planung eingehen und schließlich muss ein geeignetes Sammelsystem ausgewählt werden (Nassour, 2004). Die Bebauungsstruktur hat einen Einfluss auf die Entscheidung über die Verwendung von Hol- bzw. Bringsystem, die Art der eingesetzten Sammelfahrzeuge (Front-, Seiten- oder Hecklader) sowie die Anzahl und Lage der Sammelpunkte. Die Verkehrsstruktur wird als ein Faktor zur Beurteilung der Fahrleistung des Sammelfahrzeuges angesehen. Des Weiteren werden die Größe und die Anzahl der verwendeten Sammelbehälter mit Hilfe der Soziostruktur bestimmt (Bruns, 1997).



#### **4.3.2 Erfassung und Sammlung**

Unter Abfallerfassung werden alle Vorgänge verstanden, die zum Befüllen der Müllbehälter oder Container durch den Benutzer notwendig sind. Grundsätzlich unterscheidet man bei der Erfassung von Abfällen gemischte und getrennte Systeme. Diese Systeme dienen zur Wiedergewinnung von stofflich verwertbaren Abfallbestandteilen, die als Sekundärrohstoffe in einem Produktionsprozess zurückzuführen sind, was einerseits zur Einsparung von Primärrohstoffen und andererseits zur Reduktion des Abfallaufkommens führen kann (Bilitewski, Härdtle, & Marek, 1991). Bei der gemischten Erfassung werden die verwertbaren Abfälle (Wertstoffe) mit den Restabfällen zusammen in einem Behälter erfasst und gesammelt. In diesem Fall werden die Wertstoffe wie Glas, Metalle, Kunststoff aus dem Mischabfall durch mehrere hintereinander geschaltete Arbeitsschritte separiert. In der Regel erfolgt die Separierung in so genannten Haus- bzw. Gewerbemüllsortieranlagen (Jansen et al., 1998). Bei der getrennten Erfassung erfolgt am Anfallort die Separation der einzelnen Wertstoffe vom Restabfall mit Hilfe verschiedener Abfallbehälter (ThoméKozmiansky, 1994). Die getrennte Sammlung von Wertstoffen kann in einem additiven oder integrierten System stattfinden. Beim integrierten System werden Wertstoffe aus dem Hausmüll getrennt bereitgestellt und im Rahmen der Hausmüllabfuhr eingesammelt. Hierbei ist zwischen vollintegrierten und teilintegrierten Systemen zu unterscheiden (Knoll & Willmann, 1994). Von vollintegrierten Systemen spricht man, wenn durch geeignete Behälter (z.B. Mehrkammermüllsystem) und Mehrkammerfahrzeuge das einmalige Anfahren der Anfallstellen genügt, um die Entsorgung aller Fraktionen zu gewährleisten. Bei den teilintegrierten Systemen kommen mehrere Behälter für unterschiedliche Reststofffraktionen zum Einsatz. Hier ist mehrmaliges Anfahren der Anfallstelle nötig (Lemser, Maselli, Tillmann, & Decker, 1999). Beim additiven System wird dem Haushalt zusätzlich zur regulären Hausmüllabfuhr die Abholung von Wertstoffen beim Grundstück bzw. die Abgabe von Wertstoffen an speziellen Sammelstellen angeboten. Die Hausmüll- und Wertstoffsammlungen erfolgen zeitlich und organisatorisch vollkommen unabhängig voneinander (Knoll & Willmann, 1994). Zusätzlich gliedert sich die

Sammlung von Abfällen bzw. Wertstoffen nach der Bereitstellungsvereinbarung in Hol- und Bringsysteme. Beim Holprinzip werden den Abfallerzeugern Sammelbehälter für eine oder mehrere Abfallfraktionen auf ihren Grundstücken zur Verfügung gestellt. Von den Grundstücken der Abfallerzeuger werden die Abfälle oder Wertstoffe in die Sammelfahrzeuge umgeleert und dann zur Verwertungs- oder Beseitigungsanlage befördert. Im Rahmen des Bringsystems bringen die Abfallerzeuger ihre Abfälle zu den zentralen Sammelstellen wie z.B. Mehrkammerdepotcontainer, Recyclinghöfe. Von dort werden die Abfälle oder Wertstoffe getrennt oder ungetrennt eingesammelt und zur Verwertungs- oder Beseitigungsanlage transportiert (Würz, 2005[a]). Unter dem Begriff Sammlung versteht man alle Vorgänge, die zeitlich beim Anfall der Abfälle beginnen und zu dem Zeitpunkt enden, an dem das Müllsammelfahrzeug befüllt ist (Thomé-Kozmiansky, 1995). Grundsätzlich lassen sich die Sammelverfahren in die systemlose Sammlung und die Systemmüllsammlung unterteilen. Bei systemloser Sammlung werden die Abfallstoffe in nach Größe und Form uneinheitlichen Behältern bereitgestellt. Die Systemmüllsammlung gliedert sich in Umleer-, Wechsel- und Einwegsysteme (Schnellbögl, 1991). Diese Systeme sind in Abb. 8 definiert und kurz beschrieben.

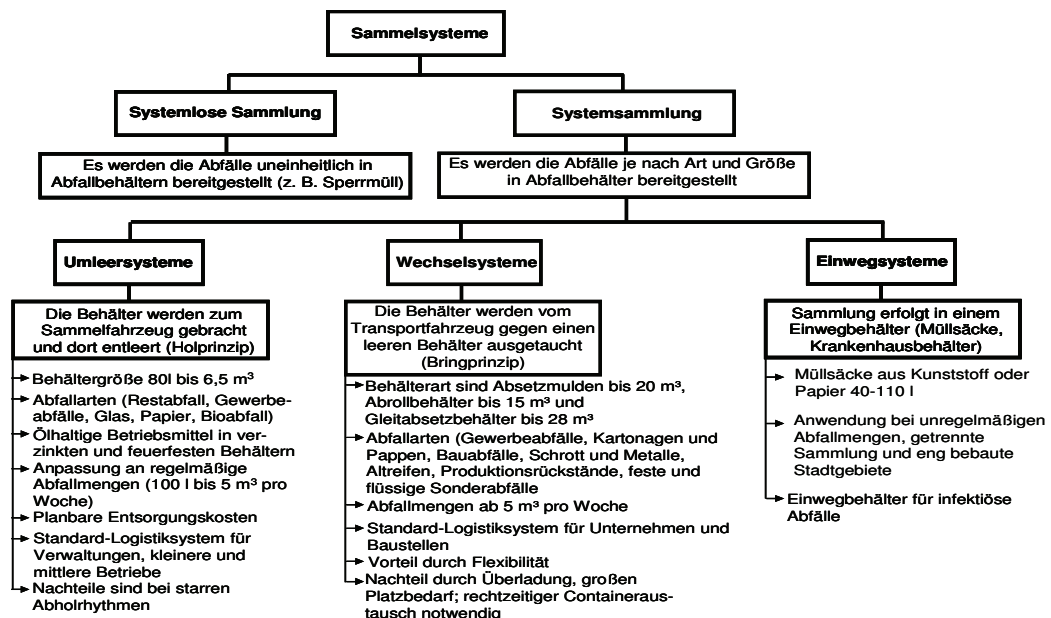


Abb. 8: Sammelsysteme (Nassour, 2004)

### 4.3.3 Transportverfahren

Innerhalb der entsorgungslogistischen Kette ist der Transport das Bindeglied zwischen der Sammlung und der Behandlungs- bzw. Verwertungsanlage. Die Transportvorgänge beginnen mit dem Beenden der Sammlung an den Abfallentstehungsorten und enden mit der Ablieferung des Abfalls an den Zwischenlagern oder den Entsorgungsanlagen (Hansen & Sommer, 1993). Beim Abfalltransport kann man Nah- und Ferntransport unterscheiden. Der Nahtransport (wird auch Direkttransport genannt) erfolgt ausschließlich auf der Straße und wird durch das Sammelfahrzeug durchgeführt (Nassour, 2005). Der Direkttransport im Sammelfahrzeug ist aufgrund der geringen Nutzlast und der hohen Personalkosten nur für die kurze Entfernung geeignet (Doedens, 2002). Die kritische Entfernung für den Direkttransport im Sammelfahrzeug beträgt ungefähr 20-40 km (Gallenkemper & Brunnert, 1994). Nach der Sammlung bereitgestellter Abfälle am Anfallort folgt zunächst der Nahtransport zur nahegelegenen Behandlungs- und Beseitigungsanlage oder zur Umschlagstation (Bilitewski et al., 2000) (s. Abb. 9)

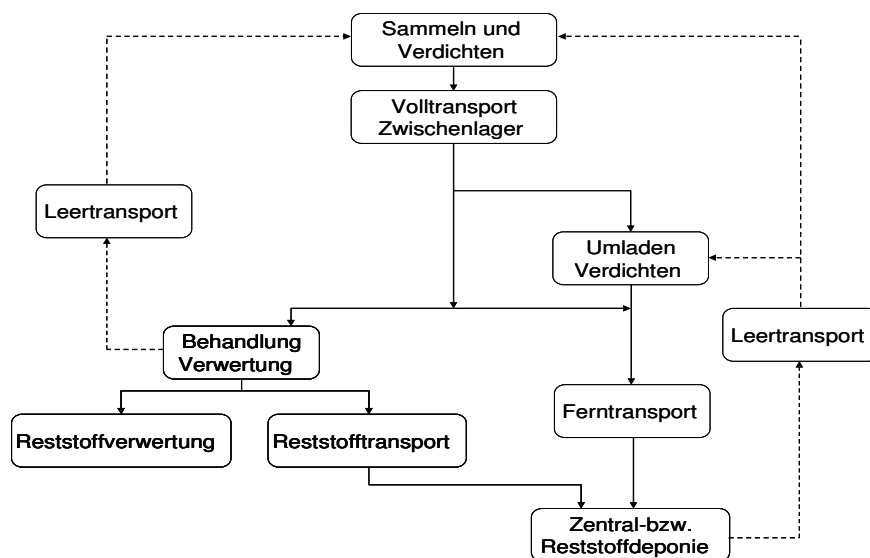


Abb. 9: Einordnung des Transports in die verschiedenen  
Verfahrensschritte der Abfallbeseitigung

In der Umschlagstation werden die Abfälle zwischengelagert, um das Transportmittel, den Behälter oder ggf. den Verkehrsträger zu wechseln. Hier kann es nur bei Distanzen von mehr als 15 km zwischen Sammelgebiet und Entladestelle sinnvoll sein, den Abfall vom Sammelfahrzeug auf spezielle Transportfahrzeuge umzuladen (Cord-Landwehr, 1994). Beim Ferntransport wird der Abfall oft in ein anderes Fahrzeug oder einen anderen Behälter in einer Umschlagstation umgeladen und dann weiter als Ferntransport zu einem geplanten Zielort befördert. Als Fernverkehr bieten sich Straßen, Schienen und Wasserwege an (Thomé-Kozmiensky, 1989).

#### **4.3.4 Behälter- und Fahrzeugsysteme**

Hinsichtlich des Sammelverfahrens können auch die Sammelbehälter in Umleerbehälter, Wechselbehälter und Einwegbehälter eingeteilt werden. Die genormten Umleerbehälter werden als Mülleimer mit 35 bis 50 l Inhalt, Mülltonnen mit 60 bis 110 l Inhalt und Müllgroßbehälter mit 120 bis 5000 l angeboten (Cord-Landwehr, 2000). Beim Umleerverfahren kommen Spezialfahrzeuge zum Einsatz. Sie bestehen aus den Komponenten Fahrgestell, Aufbau und Schüttung. Zusätzlich zu der Funktion des Transports werden in den Aufbauten Verdichtungs- und Zerkleinerungseinrichtung realisiert, so dass die Verdichtung von Abfällen neben dem Transportvorgang gewährleistet wird. Hierbei kommen in Deutschland drei verschiedene Verdichtungseinrichtungen zum Einsatz: Pressplatte, Drehtrommel, Pressschnecke (Holzhauer, 1991). Mit Hilfe einer Schüttung werden die Abfallsammelbehälter in den Fahrzeugaufbau umgeschlagen. Je nach Position der Beladungseinrichtung am Fahrzeug sind drei Systeme zu unterscheiden: Frontlader, Hecklader und Seitenlader (Jansen et al., 1998). Entsprechend den zu entleerenden Behältertypen gibt es darüber hinaus folgende Schüttarten: Ringschüttung, Kammschüttung, Umleerschüttung und Diamond-Liter (Gallenkemper & Brunnert, 1994). Die Wechselbehälter werden als Absetzkipper in einer Größe von 5 bis 12 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen oder Gleitabsetzbehälter bzw. Abrollbehälter in einer Größe bis zu 50 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen angeboten (Cord-Landwehr, 2000). Als Einwegbehälter dienen Beutel und Müllsäcke aus Kunststoff (PE-Folie) oder Papier für 35 bis 120 l Abfall. Daneben werden aber



## 5 Versuchsprogramm und Methoden

Das Versuchsprogramm, das im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurde, besteht aus mehreren Phasen, die in verschiedenen Orten und unterschiedlichen Zeitperioden durchgeführt wurden. Die nachfolgende Tabelle gibt eine Übersicht über das durchgeführte Versuchsprogramm.

Tab. 11: Phasen des Untersuchungs- und Versuchsprogramms

Merkmale	Beschreibung	Methode/ Zeitdauer/Ort
Phase [1]:  <b>Literaturrecherche</b>	→ Grundlage der Abfallwirtschaft in Deutschland: - Rechtliche Rahmenbedingung - Abfallsammlung und -transport - Behandlung/Entsorgungsverfahren	Vorlesungen/Bücher /Artikel/Online
		Deutschland/ Uni-Rostock
		6 Monate
Phase [2]:  <b>Ist-Stand Analyse</b>	→ Die Ausgangssituation der Abfallwirtschaft des Industriegebiets wurde untersucht. wichtige Aspekte sind : - Gesetze/Verordnungen - Industrieabfallarten, - Abfallmenge und- zusammensetzung, - Sammlungs-und Transportsverfahren, - vorhandene Behandlungs-und Entsorgungswege). - Finanzierung	Besichtigung der Betriebe und Ausfüllung des Fragebogens
		Syrien/Industrie-City Scheich Najar
	→ Erfassung und Quantifizierung der Probleme und Schwachstellen im Abfallwirtschaftssystem.	3 Monate
Phase [3]:  <b>Tiefgründige Untersuchung relevanter Industriezweige</b>	→ Analyse der Stoffströme verschiedener Branchen im Lebensmittel-und Textilindustrie.	Tägliche Analyse des Betriebs/Input und Output
		Syrien/Industrie-City Scheich Najar
	→ Textilbranchen sind Spinnerei, Weberei, Druckerei, Teppichweberei, Färberei Bekleidungsherstellung,	3 Monate

## Versuchsprogramm und Methoden

	→ Lebensmittel: Getreidemühlen, Molkerei, Geflügelverarbeitung, Tiernahrung, Süßigkeitenherstellung	
Phase [4] :  <b>Charakterisierung/ Durchführung thermischer Versuche</b>	→ Sieben unterschiedliche Textilabfälle aus den Produktionsprozessen wurden durch Element- und Immedia-tanalyse charakterisiert.	Thermowaage Chargenrost- Versuchsanlage
	→ Die Entgasungsfähigkeit der Textilab-fälle wurde durch die thermogravi-metrische Analyse untersucht.	Deutschland/ TU-Clausthal
	→ Untersuchung des Verbrennungs-verhaltens der Textilreste in der Chargenrost-Anlage	6 Monate
Phase [5]:  <b>Durchführung biologischer Versuche</b>	→ Kompostierung verschiedener organi-scher Rückstände aus der Lebens-mittelindustrie (Schlämme aus der Kläranlagen, Getreiderückstände etc)	Kompostierung in Syrien-Industrie-City Scheich Najar/ Biogasgewinnung Uni-Rostock
	→ Möglichkeit zur energetischen Verwer-tung der Getreiderückstände durch Biogasgewinnung	Mietenverfahren Batch-Versuch
		6 Monate
Phase [6]:  <b>Interpretation und Auswertung der Untersuchungs- ergebnisse</b>	→ Analyse und Berechnung verschiede-ner Parameter bzw. Kenngrößen	Deutschland/Uni- Rostock
	→ Festlegung des zukünftigen Umgangs mit untersuchten Stoffströmen	4 Monate
Phase [7]:  <b>Erstellung eins Abfallwirtschafts- konzepts</b>	→ Entwicklung von Lösungsansätzen zur Verbesserung der aktuellen Situation und zur Überwindung der gegen-wärtigen Probleme des Abfallwirt-schaftssystems	Deutschland/ Uni-Rostock
		6 Monate

## **6 Untersuchungen zur thermischen Verwertung relevanter Stoffströme aus der Textilindustrie**

### **6.1 Ziele der Untersuchungen**

Die entstehenden Industrieabfälle aus der Textilproduktion weisen unterschiedliche Formen und Zusammensetzungen auf. Der größte Teil dieser Abfälle wird derzeit in der Industrie-City in einer unkontrollierten wilden Deponie abgelagert. Einige bestimmte Textilabfallarten werden dagegen aufbereitet und wieder als Sekundärstoffe in der Produktion eingesetzt. Die Industrie-City plant aufgrund des Energiebedarfs sowohl in Syrien als auch in der Industrie-City, die zu deponierenden Textilabfallarten energetisch durch thermische Verwertung zu nutzen. Da sich in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Einsatzstoffe eine Vielzahl von thermischen Verfahren und Apparaten für die Energieumwandlung und Stoffbehandlung ergeben, werden im Rahmen dieser Arbeit zahlreiche labortechnische und thermische Untersuchungen und Versuche vorgenommen. Die Ziele der Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Analyse der Eigenschaft von verschiedenen Textilabfallarten, die aus unterschiedlichen komplexeren chemischen Verbindungen bestehen, was zur Charakterisierung dieser Stoffe dient
- Untersuchung der Entgasungsfähigkeit durch die thermogravimetrische Analyse (TGA)
- Untersuchung des Verbrennungsverhaltens auf dem festen Bett (Rostfeuerung)
- Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse und Erarbeitung eines Vorschlages für einen geeigneten thermischen Verwertungsweg von Textilabfällen.

Um die oben genannten Ziele zu erreichen, wurden in Zusammenarbeit mit der TU-Clausthal am Institut für Energieverfahrenstechnik und Brennstofftechnik folgende Untersuchungen und Analysen durchgeführt:

- Immediatanalyse (Kurzanalyse)
- Elementanalyse
- Kalorische Untersuchungen
- Thermogravimetrische Analyse



- Verbrennungsversuche auf dem Chargenrost

Diese Untersuchungen und Analysen geben in erster Linie eine Übersicht über die Eigenschaften und Qualität der Textilabfälle. Dadurch können auch verschiedene Parameter analysiert und festgelegt werden, die als Grundlage für die Auslegung einer thermischen Behandlungsanlage und das Führen des Verbrennungsprozesses betrachtet werden können

## 6.2 Menge und Arten untersuchter Brennstoffe

Textilien bestehen aus unterschiedlichen Fasern oder Fasergemischen. Grundsätzlich werden Textilfasern nach Naturfasern und Chemiefasern unterschieden. Naturfasern können wiederum nach ihrer Herkunft in pflanzliche, tierische oder mineralische Fasern unterteilt werden. Chemiefasern werden entweder auf Basis synthetischer, natürlicher oder anorganischer Rohstoffe hergestellt (Binger, 1994; Morana, 2006). Die in der Industrie-City durchgeführten abfallwirtschaftlichen Untersuchungen haben gezeigt, dass die anfallenden Textilabfälle neben ihrer unterschiedlichen Zusammensetzung verschiedene Formen haben. Deswegen wurde eine Probe von jeder Form und Art für die Untersuchungen ausgewählt. Die in den Untersuchungen eingesetzten Textilabfallarten sind in Abb. 11 dargestellt.



Abb. 11: Eingesetzte Textilabfälle bei den Untersuchungen

Das Aufkommen dieser Abfallarten ist in Tab. 12 aufgelistet. Da es zurzeit viele Textilbetriebe in der Planungs- und Genehmigungsphase gibt, wird in den nächsten Jahren erwartet, dass sich die Mengen verdoppeln.

Tab. 12: Aufkommen der zu untersuchenden Textilabfälle im Industriegebiet

Bezeichnung		Anfallende Stoffmenge	Bemerkungen
Einheit		kg/d	
Textilabfallarten	Fadenreste	2500	gefärbte Fäden
	Faserreste	8000	nicht gefärbte Fasern
	Teppichreste	5000	-
	Bekleidungsreste	3000	Anfall bei Bekleidungsherstellung
	Webstoffreste	2000	Anfall in Webereien
	Industrielle Gummibänder	3000	gefärbte Bänder für Industrie
	Normale Gummibänder	2000	weiße Bänder, Hosenbänder
	$\Sigma$	25500	

### 6.3 Untersuchungen zur Charakterisierung einzelner Brennstoffe

Die Menge und die Zusammensetzung des Abfalls spielen eine große Rolle bei der Auslegung einer thermischen Behandlungsanlage. Darüber hinaus sind die Verfahrenstechnik, die Prozessführung und die Größe einer thermischen Behandlungsanlage wesentlich von den anfallenden Mengen und der Zusammensetzung des Abfalls abhängig (Scholz, Beckmann, & Schulenburg, 2001). Die zu untersuchenden Textilabfälle werden durch brennstofftechnische Analysen, die die Brennstoffbeschaffenheit und -eigenschaften beschreiben, charakterisiert. Unter den Begriff „brennstofftechnische Analysen“ fallen die Immediat- und Elementanalyse sowie die Analyse der kalorischen Brennstoffeigenschaften. Diese Analysen wurden nach normierten Methoden [Wassergehalt (DIN 51 718), Asche-

gehalt (DIN 51 719), Gehalt an flüchtigen Bestandteilen (DIN 51 720), Gehalt an Kohlenstoff und Wasserstoff (DIN 51 721), Stickstoffgehalt (DIN 51 722), Schwefelgehalt (DIN 51 724), Chlorgehalt (DIN 51 727), Brennwert (DIN 51 900) ], die in erster Linie für fossile Festbrennstoffe gelten, vorgenommen.

### **6.3.1 Immediatanalyse (Kurzanalyse )**

Bei der Zusammensetzung eines festen Brennstoffs unterscheidet man zwischen dem Ballast und der brennbaren Substanz. Während das Wasser und die mineralische Substanz (Asche) den Ballast des Brennstoffs bilden, setzt sich die brennbare Substanz aus den flüchtigen Bestandteilen und dem fixen Kohlenstoff zusammen (Brandt, 1999). Einen ersten Überblick über die Qualität der Textilabfälle vermitteln die Ergebnisse einer Immediatanalyse. Darunter wird die Bestimmung der Gehalte an Wasser, an flüchtigen Bestandteilen, an fixem Kohlenstoff und Asche verstanden. Diese Gehalte werden durch einfache Analyseschritte (Trocknen, Erhitzen unter Luftabschluss, Veraschen) bestimmt (Joos, 2006). Der Wassergehalt hat einen Einfluss auf den Heizwert im Rohzustand, das Brennstoffgewicht, die Verbrennungstemperatur sowie die Lagerfähigkeit. Der Anteil der Asche, die aus den Oxidations- und Zersetzungsprodukten der mineralischen Brennstoffbestandteile besteht, beeinflusst den Heizwert im Rohzustand, die Verbrennungstemperatur sowie die Rückstandsbildung und -verwertung. Der fixe Kohlenstoff ist der bestimmende Faktor für die erforderliche Verweilzeit der Brennstoffpartikel bei der Verbrennung, da sein Abbau relativ langsam ist (Vodegel, 2004). Nach DIN 51720 versteht man unter den flüchtigen Bestandteilen fester Brennstoffe, die bei einer Erhitzung auf  $900\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$  unter Luftabschluss entweichenden gas- und dampfförmigen Zersetzungsprodukte der organischen Brennstoffsubstanz (Brandt, 1999). Der Anteil an flüchtigen Bestandteilen gibt Auskunft über das Zündverhalten eines Brennstoffes. Je mehr flüchtige Bestandteile, desto zündfreudiger ist der Brennstoff (Steinbrecht, 2007[a]). Er ist auch für den Ablauf der Verbrennung fester Brennstoffe in Feuerungen wichtig, da zunächst die flüchtigen Bestandteile ausgetrieben und gezündet werden, bevor die Feststoffverbrennung einsetzt (Joos, 2006). Darüber hinaus steuert der Anteil an flüchtigen Bestandteilen, speziell der leichtflüchtigen

Bestandteile, wesentlich die Konstruktion der Brennkammer (Tabasaran, 1994.). Der fixe Kohlenstoff gehört zu der brennbaren Substanz und bleibt neben der Asche als Rückstand bei der Bestimmung des Gehalts an flüchtigen Bestandteilen. Er wird indirekt mittels Differenzmethode bestimmt. Die Gehalte an Wasser, Asche, flüchtigen Bestandteilen und fixem Kohlenstoff müssen sich im analysenfeuchten Zustand zu 100 % addieren. Die Ergebnisse der Untersuchungen, die auf den analysenfeuchten Zustand bezogen sind, sind in Tab. 13 dargestellt.

Tab. 13: Ergebnisse der Immediatanalyse von Textilabfällen

Brennstoffe/Textilabfälle				Faden- reste	Faser- reste	Teppich- reste	Bekleidungs- reste	Webstoff- reste	Industrielles Gummiband	Normales Gummiband
Immediatanalyse	Bezeichnung	Symbol	Einheit							
	Wasser	$\xi_{H_2O,Br}$	kgH <sub>2</sub> O/kgBr	0.009	0.004	0.036	0.011	0.007	0.002	0.002
	Asche	$\xi_{A,Br}$	kgA/kgBr	0.004	0.022	0.035	0.009	0.001	0.094	0.081
	Flüchtige Substanzen	$\xi_{F,Br}$	kgF/kgBr	0.812	0.859	0.861	0.895	0.734	0.880	0.855
	Fixer Kohlenstoff	$\xi_{C,fix,Br}$	kgC <sub>fix</sub> /kgBr	0.175	0.115	0.068	0.085	0.258	0.024	0.062
	Summe	$\Sigma$	kg Br	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

### 6.3.2 Elementanalyse (Elementarzusammensetzung)

Die Elementaranalyse wird als Grundlage für die Verbrennungsrechnung benötigt. Feste Brennstoffe setzen sich aus brennbaren Bestandteilen (C, H<sub>2</sub>, S) und nicht brennbaren Bestandteilen (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Asche und Wasser) zusammen (Steinbrecht, 2007[a]). Bei der Elementanalyse wird die chemische Zusammensetzung der Textilabfälle, die für die Textilcharakterisierung notwendig ist, untersucht. Hierbei werden die Gehalte an Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H<sub>2</sub>), Schwefel (S), Chlor (Cl), Stickstoff (N<sub>2</sub>) und Sauerstoff (O<sub>2</sub>) bestimmt. Der Kohlen- und Wasserstoffgehalt, Chlor- und Schwefelgehalt wurden im Labor (Verbrennungsprinzip) bestimmt. Dabei wurde die Probe verbrannt. Die gasförmigen Verbrennungsprodukte (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl) wurden mittels geeigneten Sorptionsmittels aufgefangen und dann ihre Menge bestimmt. Der Stickstoffgehalt wurde durch das so genannte Kjeldahl-Verfahren bestimmt. Da die bekannten Bestimmungsverfahren für Sauerstoff relativ ungenau sind, wurde der Sauerstoffgehalt indirekt mittels

Differenzmethode bestimmt. Die Gehalte von C, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, S sowie Wasser und Asche müssen sich im analysenfeuchten Zustand zu 100 % addieren. Die chemischen Elemente des Brennstoffs haben einen wesentlichen Einfluss auf die Möglichkeiten zur Ascheverwertung und die Emissionen. Der Brennstoffstickstoff geht vollständig in die Gasphase über und beeinflusst dort die Stickstoffoxidemissionen und bindet kaum in der Asche ein (Kaltschmitt, 2001). Chlor ist an der Bildung von Chlorwasserstoff und Dioxinen/Furanen beteiligt. Es wird zu etwa 40 bis 95 % in der Asche eingebunden und wirkt im Zusammenspiel mit Alkali- und Erdalkalimetallen sowie mit SO<sub>2</sub> korrosiv. Schwefel geht bei der Verbrennung unter Bildung von SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> und Alkalisulfaten größtenteils in die gasförmige Phase über. Er wird je nach Abscheidgrad der Entstaubungseinrichtungen zu etwa 40 bis 95 % in der Asche eingebunden. Darüber hinaus reduziert der Sauerstoffgehalt den Heizwert, da die oxidierbaren Komponenten in sauerstoffhaltigen Verbindungen bereits in einer höheren Oxidationsstufe vorliegen (Vodegel, 2004). Die auf den analysenfeuchten Zustand bezogenen Ergebnisse von Elementanalyse sind in Tab. 14 angegeben.

Tab. 14: Untersuchungsergebnisse der Elementanalyse von Textilabfällen

Brennstoffe/Textilabfälle				Fadenreste	Faserreste	Teppichreste	Bekleidungsreste	Webstoffreste	Industrielles Gummiband	Normales Gummiband
Elementanalyse	Bezeichnung	Symbol	Einheit							
	Kohlenstoff	$\xi_{C,Br}$	kg C/kgBr	0.671	0.605	0.598	0.613	0.650	0.707	0.629
	Wasserstoff	$\xi_{H,Br}$	kg H/kgBr	0.067	0.048	0.090	0.048	0.055	0.100	0.060
	Sauerstoff	$\xi_{O,Br}$	kg O/kgBr	0.021	0.320	0.239	0.318	0.158	0.089	0.223
	Stickstoff	$\xi_{N,Br}$	kg N/kgBr	0.224	0.000	0.001	0.001	0.126	0.002	0.001
	Schwefel	$\xi_{S,Br}$	kg S/kgBr	0.004	0.001	0.001	0.000	0.003	0.006	0.004
	Chlor	$\xi_{Cl,Br}$	kg Cl/kgBr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	Summe	$\Sigma$		0.987	0.974	0.929	0.98	0.992	0.904	0.917

### 6.3.3 Kalorische Brennstoffeigenschaften

Kalorische Brennstoffeigenschaften werden durch Brennwert und Heizwert definiert. Als Brennwert  $H_o$  wird der Quotient aus der frei werdenden Reaktionsenthalpie und der Masse des Brennstoffs bezeichnet, wenn das vor dem Verbrennen vorhandene Wasser und das beim Verbrennen aus wasserstoff-

haltigen Verbindungen gebildete Wasser nach der Verbrennung im flüssigen Zustand vorliegt. Als Heizwert  $H_u$  wird der gleiche Quotient bezeichnet, wenn das vorstehend erwähnte Wasser nach der Verbrennung im dampfförmigen Zustand vorliegt. Diese Definitionen gelten unter folgenden Voraussetzungen:

- Die Temperaturen des Brennstoffs und der Verbrennungsluft sowie der Verbrennungsprodukte betragen 25 °C.
- Die Verbrennung ist vollkommen und vollständig.
- Es findet keine Oxidation des Luftstickstoffs statt.
- Die Verbrennungsprodukte von Kohlenstoff und Schwefel liegen gasförmig als  $\text{CO}_2$  und  $\text{SO}_2$  vor (Żelkowski, 2004).

Der Brennwert wurde nach DIN 51900 bestimmt. Hierbei wurde eine Probe in einer mit Sauerstoff (30 bar) gefüllten kalorimetrischen Bombe elektrisch gezündet, verbrannt und auf die Umgebungstemperatur abgekühlt. Der Heizwert kann im Labor nicht unmittelbar gemessen werden, sondern wurde aus dem Brennwert nach Gleichung (1) berechnet.

$$H_u = H_o - \Delta h_v \cdot (\xi_{\text{H}_2\text{O},\text{Br}} + 9 \cdot \xi_{\text{H},\text{Br}}) \quad \text{Quelle: (Steinbrecht, 2007[a])} \quad (1)$$

Die auf den analysenfeuchten Zustand bezogenen kalorischen Daten sind in Tab. 15 dargestellt.

Tab. 15: Brenn- und Heizwert der untersuchten Textilabfälle

Bezeichnung		Brennwert	Heizwert
Symbol		$H_{o,\text{Br}}$	$H_{u,\text{Br}}$
Einheit		MJ/kgBr	MJ/kgBr
Brennstoffe	Fadenreste	29. 54	28. 07
	Faserreste	21. 03	19. 98
	Teppichreste	27. 19	25. 14
	Bekleidungsreste	22. 35	21. 28
	Webstoffreste	26. 59	25. 38
	Industrielles Gummiband	34. 64	32. 44
	Normales Gummiband	25. 86	24. 54

Die Analyseergebnisse können auch auf verschiedene Zustände bezogen werden. Im Anhang sind die Ergebnisse für analysenfeuchte, wasserfreie sowie wasser- und aschefreie Bezugszustände dargestellt. Diese Begriffe lassen sich folgendermaßen kurz beschreiben:

**Analysenfeucht (i.an):** Wassergehalt des analysenfeinen lufttrockenen Brennstoffs beim Einwiegen zu analytischen Untersuchungen.

**wasserfrei (i.wf):** Der Brennstoff enthält kein Wasser. Er wurde vorher bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

**wasser- und aschefrei (i.waf):** Der Bezugszustand wasser- und aschefrei ist ein theoretischer Begriff. Er bedeutet, dass vom Gewicht des wasserfreien Brennstoffes das Gewicht der Asche abgezogen wurde (Brandt, 1999; Żelkowski, 2004).

## 6.4 Thermogravimetrische Analysen

Ganz allgemein unterscheidet man gemäß dem Sauerstoffangebot bei der thermischen Behandlung von Brennstoffen, zu denen auch Abfall gehört, drei wesentliche Prozesse, die unter Sauerstoffabschluss (Pyrolyse/Entgasung  $\lambda = 0$ ), unterstöchiometrisch (Vergasung  $\lambda < 1$ ) und stöchiometrisch bis überstöchiometrisch (Verbrennung  $\lambda \geq 1$ ) ablaufen (Scholz et al., 2001). Die Ergebnisse der thermogravimetrischen Untersuchungen liefern zunächst erste Aussagen über das thermische Verhalten des Brennstoffs bei dem Prozessschritt „Entgasung“. Die Entgasung (Pyrolyse) stellt die thermische Zersetzung von organischem Material unter Ausschluss eines Vergasungsmittels wie Sauerstoff, Luft, Dampf, Kohlenstoffdioxid dar. Flüchtige Stoffe werden in den Temperaturbereichen zwischen 150 °C und 900 °C ausgetrieben und höhere Kohlenwasserstoff-Verbindungen in niedere zerlegt und langkettige Moleküle zu kurzkettigen aufgespalten. Als Pyrolyseprodukte entstehen Pyrolysegas, -koks, -öl bzw. -teer (Bilitewski et al., 1991). Die Temperatur, bei der die Entgasung durchgeführt bzw. beendet wird und die Aufheizrate, mit der diese Temperatur erreicht wird, beeinflussen den Anteil der einzelnen Pyrolyseprodukte. Abb. 12 zeigt nach Berghoff 1981 die Ergebnisse der Entgasung von Hausmüll als



Funktion der Pyrolyse-Endtemperatur. Abb. 12 zeigt deutlich, dass mit zunehmender Pyrolysetemperatur der Anteil an flüchtigen Bestandteilen im Pyrolysekoks abnimmt und bei ab etwa 500 °C Null erreicht. Damit reduziert sich die Menge des gebildeten Pyrolysekokes bis zu der Temperatur 500 °C auf etwa 40 % Input. Ein weiterer geringer Rückgang der Menge an Pyrolysekoks wird dann nur noch durch die Verschiebung des Boudouard-Gleichgewichts, ausgehend von Kohlendioxid  $\text{CO}_2$  und Kohlenstoff C in Richtung Kohlenmonoxid erreicht, wobei dem verbleibenden Pyrolysekoks weiter Kohlenstoff entzogen wird. Darüber hinaus erreicht die Menge der gebildeten Teer- und Ölkondensate unterhalb von 500 °C ein Maximum. Bei höheren Pyrolyseendtemperaturen reduziert sich die Menge wieder durch auftretende Crackreaktionen, die zu niedermolekularen Verbindungen führen (Funk, 2007).

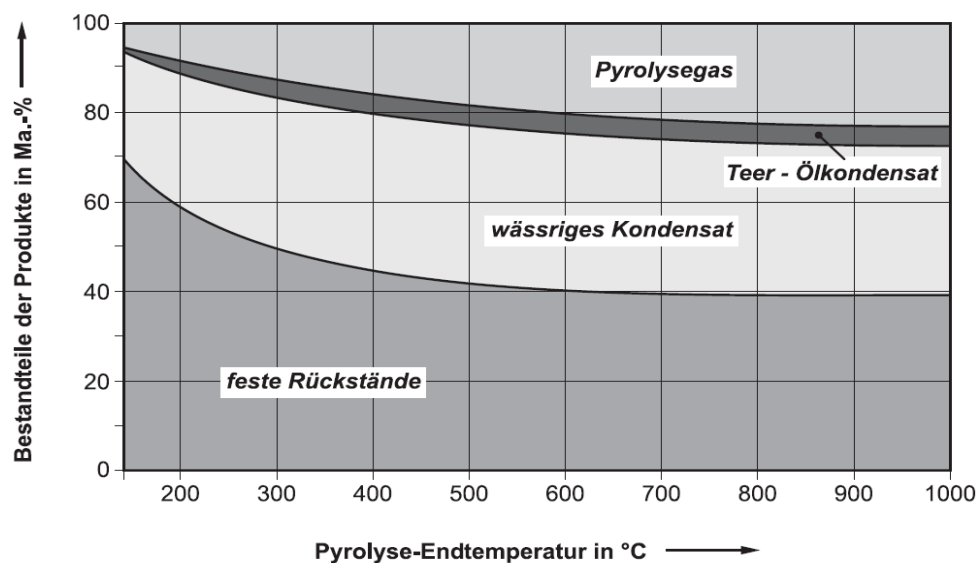


Abb. 12: Anteil der Entgasungsprodukte von Hausmüll als Funktion der Pyrolysetemperatur (Berghoff, 1981)

Das wässrige Kondensat entsteht durch Wassergehalt im Abfallstoff oder das anfallende Zersetzungswasser. Die Kondensatmenge steigt mit wachsender Pyrolysetemperatur [bis ca. 350°C] an, bleibt dann über einen großen Bereich konstant und sinkt bei hohen Temperaturen mit Einsetzen der Wasserreaktion wieder ab. Außerdem ist auch anzumerken, dass mit steigender Pyrolyse-



temperatur und damit steigender thermischer Zersetzung die Pyrolysegasmenge zunimmt (Scholz et al., 2001). Das Pyrolysegas besteht im Wesentlichen aus Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Methan und Wasserstoff. Ferner sind höhere Kohlenwasserstoffe insbesondere Ethan und Ethen enthalten (Funk, 2007). Die Entgasung wird von unterschiedlichen Parametern beeinflusst. Die nachfolgende Abbildung gibt eine Übersicht über die Haupteinflussgrößen in Pyrolyseprozessen.

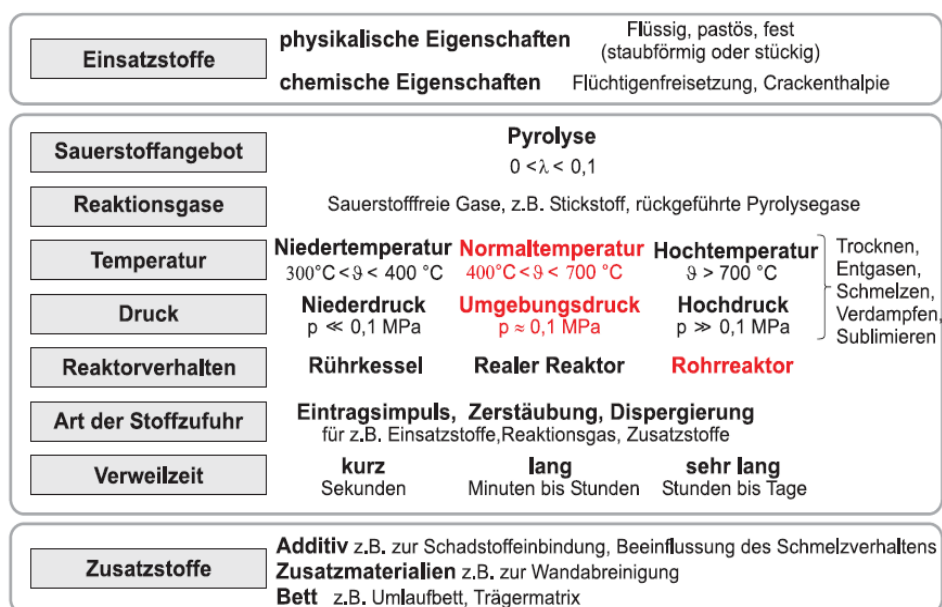


Abb. 13: Haupteinflussgrößen in Pyrolyseprozessen (Scholz et al., 2001)

Eine Diskussion über diese Haupteinflussgrößen ist in Scholz et al., 2001 und Scholz et al., 1993 zu finden. Die thermogravimetrischen Untersuchungen zum Umsatz von Textilabfällen wurden in einer technischen Thermowaage, die im nächsten Abschnitt ausführlich beschrieben wird, durchgeführt. Die Anlage ist Eigentum des Instituts für Energieverfahrenstechnik und Brennstofftechnik der TU Clausthal. Durch die thermogravimetrischen Analysen wurden die Massenänderung als Funktion der Zeit und als Funktion der Temperatur, die Entgasungsfähigkeit (Anteile der Zerlegungsprodukte) und die chemische Zusammensetzung des entstehenden Pyrolysegases untersucht.

### 6.4.1 Beschreibung der Versuchsanlage

Das Kernstück der Anlage (Thermowaage) bildet eine elektrisch beheizte Reaktionskammer, die mit unterschiedlichen Aufheizgeschwindigkeiten (max. bis 20 K/min) und verschiedenen isothermen Haltephasen (max. 1.000 °C) über eine Programmregelung variabel betrieben werden kann. Zur Erzeugung einer inerten Atmosphäre wird der Reaktionskammer Stickstoff ( $N_2$ ) von unten über eine Schüttschicht, die der Strömungsvergleichmäßigung dient, zugeführt. In der Mitte der Reaktionskammer, die mit Überdruck betrieben wird, hängt ein mit der Waage verbundenes zylindrisches Probengefäß, dem die definierte Probenmenge zugegeben wird. Die Masse und die Abgaskonzentration wurden durch ein Messwerterfassungssystem stetig als Funktion der Temperatur (T) und der Zeit (t) gemessen. In Abb. 14 ist neben der schematischen Darstellung der Thermowaage ein Foto dargestellt, auf dem die Bestandteile deutlich erkennbar sind.

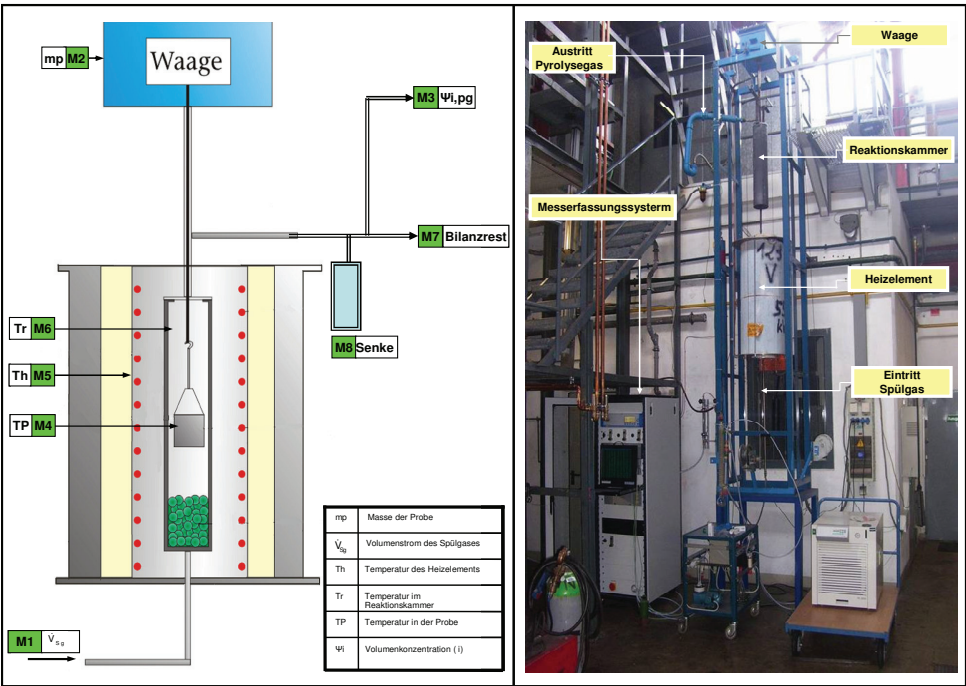


Abb. 14: Schematische Darstellung und Foto der Thermowaage

Um das Messwerterfassungssystem zu schützen, wurden die mit dem Abgas begleiteten Stäube und Kondensate durch ein vorgeschaltetes Abgas- Aufbereitungssystem abgetrennt oder abgeschieden. Die Staubabscheidung erfolgt durch mehrstufige Filtration. Die Kondensatabtrennung wurde durch Abgaskühlung auf 5 °C realisiert.

#### **6.4.2 Versuchsdurchführung**

Alle thermogravimetrischen Analysen wurden unter identischen Bedingungen durchgeführt. Nach der Füllung des Probengefäßes wurde die Reaktionskammer hochgehoben und an der Reaktionskammer-Decke angeschraubt. Danach wurde das gesamte System mit Stickstoff 300 dm<sup>3</sup> (n)/h ausgespült. Parallel zur Ausspülung wurde die Sauerstoffkonzentration in Vol % gemessen. Eine Sauerstoffkonzentration von 0 Vol % ist die Aufzeichnung des Versuchsbeginns. Die Versuche wurden mit der Aufheizgeschwindigkeit von 20 K/min und isothermen Haltephasen (bis 1.000 °C) durchgeführt. Bei der Erhitzung nimmt die Masse des Brennstoffs aufgrund der Austreibung der flüchtigen Bestandteile ab. Die aus der Reaktionskammer austretenden Abgase (Pyrolysegas) wurden teilweise mit einer Pumpe abgesaugt und zum Gasanalysesystem (Messstelle 3 in der Abb. 14) geleitet. Der Rest wurde durch die Messstelle 7 in die Atmosphäre freigesetzt. Die bei der Entgasung entstehenden flüssigen Bestandteile können bei dieser Anlage nicht komplett erfasst und nicht genau gemessen werden, da ein großer Teil der flüssigen Bestandteile, z.B. Teer, auf dem Weg bis zum Gasanalysesystem kondensiert wird und an der Oberfläche der Rohrleitungen haften bleibt. Dieser Anteil wird in Abb. 14 als Senke bezeichnet. Als wesentliches Kriterium für die Festlegung des Versuchsendes wird die Kohlenstoffdioxid- und Kohlenstoffmonoxidkonzentration betrachtet, die auf den Abschluss des Feststoffumsatzes schließen lassen. Wenn die Kohlenstoffdioxid- und Kohlenstoffmonoxidkonzentration im Abgas auf 0 Vol % absinkt, wird der Versuch abgebrochen, da kein Kohlenstoff mehr umgesetzt wird. Alle Messwertdaten werden an ein PC-Rechnersystem gegeben, welches die Daten mit einer speziellen Software in einer Datei speichern kann. Die in der Datei gespeicherten Messwerte können danach verarbeitet und ausgewertet werden.

### 6.4.3 Versuchsauswertung

#### 6.4.3.1 Messungen und Ergebnisse

Bei den Untersuchungen wurden kontinuierlich die Masse durch die Waage (M2 in Abb. 14) und die Konzentrationen der Abgaskomponenten  $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2$  durch das Messwerterfassungssystem (M3 in Abb. 14) in Abhängigkeit sowohl von der Temperatur ( $T$ ) als auch von der Zeit( $t$ ) gemessen. Das Messwerterfassungssystem speichert alle 10 Sekunden die Daten für die Masse, Temperaturen (Temperatur der Probe  $T_P$ , des Heizelements  $T_h$  und die Temperatur in der Reaktionskammer  $T_r$ ) sowie die Konzentration der gasförmigen Komponente  $i$  ab. Abb. 15 und Abb.16 stellen z.B. die Massenänderung sowie die Gas-Konzentrationen als Funktion der Proben temperatur ( $T_P$ ) bei der Entgasung industrieller Gummibänder dar. Ähnliche Abbildungen werden im Anhang für die anderen untersuchten Brennstoffe dargestellt.

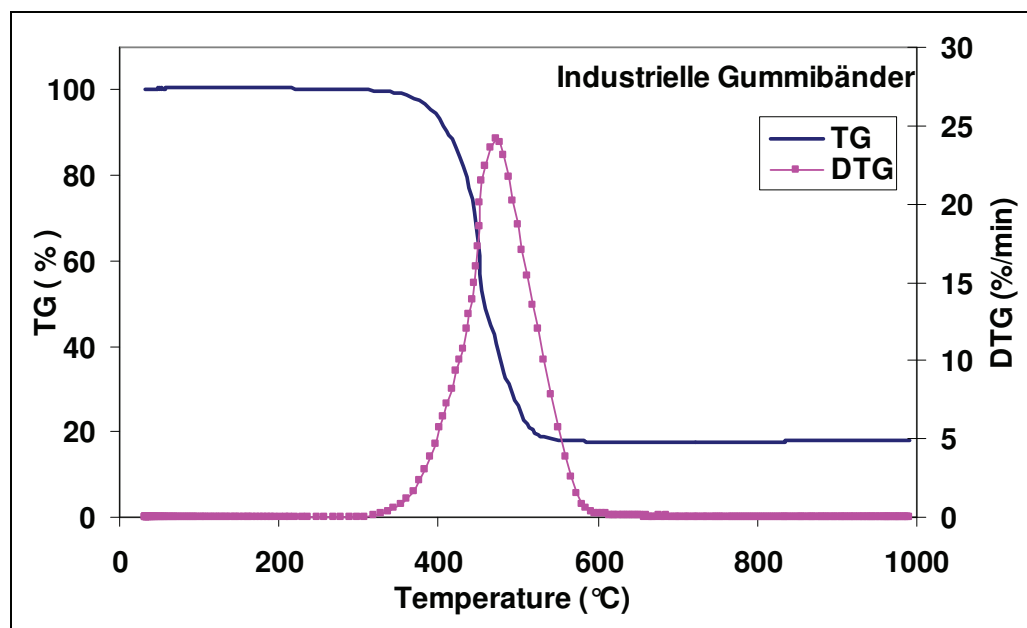


Abb. 15: Massenänderung als Funktion der Temperatur bei der Pyrolyse industrieller Gummibänder

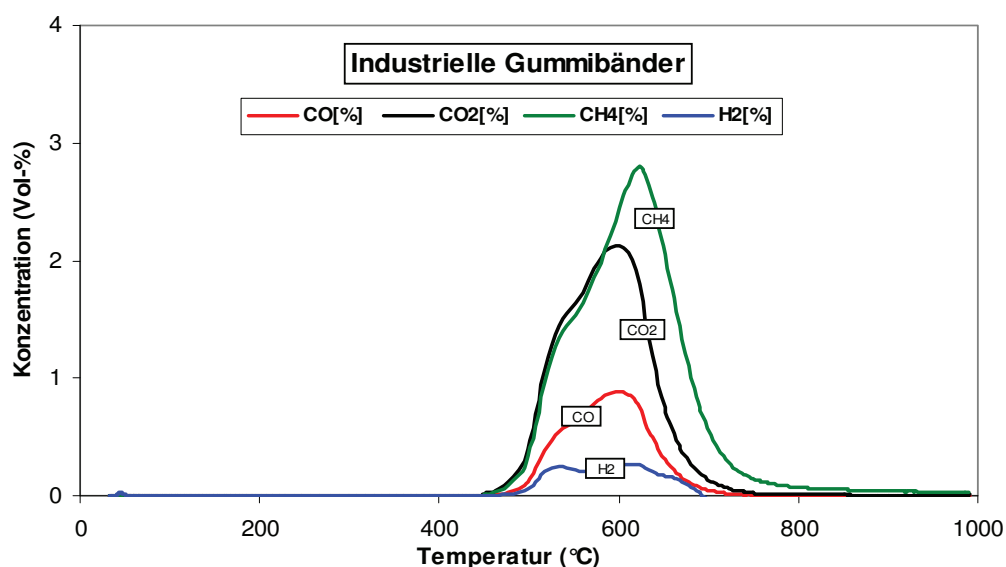


Abb.16: Konzentration der Abgaskomponenten als Funktion der Temperatur für industrielle Gummibänder

Die thermogravimetrische Kurve TG und ihre erste zeitliche Ableitung (differenzierte thermogravimetrische Kurve DTG) liefern demnach Informationen über die Temperaturbeständigkeit einer Probe, die Temperaturbereiche, in denen Reaktionen ablaufen und die Temperatur des maximalen Reaktionsumsatzes. Tab. 16 stellt die insgesamt stattgefundene Massenabnahme ( $m_{v,f,ges}$ ) und den Temperaturbereich, in dem die Massenänderung beginnt ( $T_a$ ) und endet ( $T_e$ ) sowie die Temperatur des maximalen Reaktionsumsatzes ( $T_{ur,max}$ ) für untersuchte Textilabfälle dar.

Tab. 16: Massenverluste und charakteristische Temperaturen

Symbol		$T_a$	$T_e$	$T_{ur,max}$	$m_{v,f,ges}$
Einheit		°C	°C	°C	%
Brennstoffe	Fadenreste	356	562	415	61
	Faserreste	456	681	524	77
	Teppichreste	158	614	531	83
	Bekleidungsreste	266	529	492	75
	Webstoffreste	200	531	331	60
	Industrielles Gummiband	339	611	490	81
	Normales Gummiband	328	528	442	79

Durch das Messwerterfassungssystem wurden als gasförmige Bestandteile Methan, Kohlenstoffmonoxid, Kohlenstoffdioxid, Wasserstoff und Sauerstoff gemessen. Die Messung der Sauerstoffkonzentration diente einerseits zur Festlegung des Versuchsbeginns und andererseits zur Überwachung der Systemdichtigkeit im Verlauf des Versuchs. Da die genaue Erfassung der flüssigen Bestandteile (Öl, Teer) an der Anlage schwer ist und die anderen entstehenden Gaskomponenten wie z.B. Kohlenwasserstoffe (Ethan, Ethen, Propan etc.) nicht gemessen werden können, wurden die ein- und austretenden Massenströme in einer Massenbilanz betrachtet. Dadurch wurde die Restmasse  $\xi_{R,Br}$  die aus brennbaren und nichtbrennbaren gasförmigen sowie flüssigen Bestandteilen besteht, ermittelt. In Tab. 17 sind die Anteile der Entgasungsprodukte angegeben. Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass alle untersuchten Textilabfallarten sehr wenige Gase bei der Pyrolyse produzieren. Die Restmasse  $\xi_{R,Br}$  stellt bei der Stoffzerlegung durch die Pyrolyse in der Thermowaage den größten Anteil dar. Dieser Anteil liegt im Bereich 0,54-0,75 kg R/kg Br.

Tab. 17: Stoffzerlegung der Textilabfälle durch die Pyrolyse in der Thermowaage

Brennstoffe/Textilabfälle				Faden- reste	Faser- reste	Teppich- reste	Bekleidungs- reste	Webstoff- reste	Industriel- les Gummi- band	Normales Gummi- band
Entgasungsprodukte	Bezeichnung	Symbol	Einheit							
	Summe von Gasförmigen Komponenten (I)	$\sum \xi_{gi,Br}$	$\frac{kg\ g}{kg\ Br}$	0.046	0.145	0.100	0.115	0.046	0.050	0.197
	Koks	$\xi_{K,Br}$	$\frac{kg\ K}{kg\ Br}$	0.387	0.232	0.165	0.254	0.398	0.189	0.211
	Wasser	$\xi_{H_2O,Br}$	$\frac{kg\ H_2O}{kg\ Br}$	0.009	0.004	0.036	0.011	0.007	0.002	0.002
	Restmasse	$\xi_{R,Br}$	$\frac{kg\ R, tr}{kg\ Br}$	0.558	0.619	0.699	0.620	0.549	0.759	0.590
	$\Sigma$			1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Die verbleibenden festen Rückstände aus dem Pyrolyseprozess werden in Tab. 17 als Koks bezeichnet. Sie setzen sich grundsätzlich aus fixem Kohlenstoff und mineralischem Material des Brennstoffs (Asche) zusammen. Um den hohen

Anteil der Restmasse überprüfen zu können, wurden die Abfallarten industrielle Gummibänder und Bekleidungsreste in der so genannten „Jenkner-Retorte“ entgast. Bei dieser Anlage können die flüssigen, gasförmigen und festen Bestandteile genau gemessen und bestimmt werden. Im Vergleich zur Thermowaage können die Masse und die Konzentration der Abgaskomponenten in Abhängigkeit von der Zeit und von der Temperatur nicht kontinuierlich gemessen werden. Die entstehenden Abgase wurden in einem Beutel gesammelt und gaschromatographisch analysiert. Da das Probengefäß (Retorte) sehr klein ist, wurden die zu untersuchenden Substrate auf eine Stückigkeit von kleiner als 0,5 mm aufbereitet, was den Zersetzungsgrad erhöhen kann. Tab. 18 stellt die Untersuchungsergebnisse bei der Entgasung der Bekleidungsreste sowie der industriellen Gummibänder im „Jenkner-Retorte“-Verfahren dar.

Tab. 18: Stoffzerlegung der Textilabfälle durch die Entgasung in „Jenkner-Retorte“

Brennstoffe/Textilabfälle				Bekleidungsreste	Industrielles Gummiband
Entgasungsprodukte	Bezeichnung	Symbol	Einheit		
	Gasförmige Bestandteile	$\sum \xi_{g,i,Br}$	$\frac{\text{kg g}}{\text{kg Br}}$	0.315	0.096
	Feste Bestandteile (Koks)	$\xi_{K,Br}$	$\frac{\text{kg K}}{\text{kg Br}}$	0.182	0.142
	Flüssige Bestandteile (Wasser)	$\xi_{H_2O,Br}$	$\frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{kg Br}}$	0.011	0.002
	Flüssige Bestandteile (Teer und Öle)	$\xi_{F,Br}$	$\frac{\text{kg Fl}}{\text{kg Br}}$	0.492	0.760
	$\Sigma$			1.000	1.000

Die in Tab. 18 dargestellten Ergebnisse deuten darauf hin, dass die flüssigen Bestandteile (insbesondere Öle, Teere) den größten Anteil bei der Entgasung der Bekleidungsreste sowie der industriellen Gummibänder im „Jenkner-Retorte“-Verfahren darstellen (s. Abb.17). Teere und Öle entstehen durch die thermische



Zersetzung der Textilabfallfasern. Zum Beispiel haben die Untersuchungen gezeigt, dass durch die thermische Zersetzung der Baumwollfasern hochmolekulare Kohlenwasserstoffverbindungen wie z.B. Benzol, Styrol und Phenol entstehen, die sich danach konzentrieren und Teer und Öle bilden (Molto, Conesa, Font, & Martin-Gullon, 2005). Diese Produkte (Öle, Teere) verursachen Probleme beim Anlagenbetrieb. Sie verstopfen die Gasleitungen und Rohre zum Analysator (Ryu, Phan, Sharifi, & Swithenbank, 2007).



Abb.17: Versuchsanlage „Jenkner-Retorte“ (rechts); gebildeter  
Pyrolyseöl-Teer bei der Entgasung industrieller Gummibänder

Dies beweist wiederum, dass die in Tab. 17 ermittelten Restmassen hauptsächlich aus Teeren und Ölen bestehen. Darüber hinaus hat sich die Menge der entstandenen gasförmigen Bestandteile bei dem „Jenkner-Retorte“-Verfahren verdoppelt, da durch die Gaschromatographie neben den gasförmigen Hauptkomponenten ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ) andere Kohlenwasserstoffverbindungen wie z.B. Ethen, Propan, Ethan, Propen etc. gemessen werden. Ein anderer Grund für die Erhöhung der Gasmenge ist der Einsatz zerkleinerter Materialien in der



Retorte, was zur Steigerung der Zersetzungsraten führen kann. In der Literatur sind die Ergebnisse der Pyrolyseprodukte von anderen Textilabfallarten (Textilabfälle aus der T-Shirt-Industrie) unter bestimmten Bedingungen (Pyrolyse-temperatur 700 °C, Aufheizgeschwindigkeit 10 K/min, Stickstoffvolumenstrom 60 ml/min, unter Atmosphärendruck) zu finden. Dementsprechend setzen sich die Pyrolyseprodukte aus 74 % Ölen und Teeren, 13,5 % Gas und 12,5 % Koks zusammen (Miranda, Sosa\_Blanco, Bustos-Martínez, & Vasile, 2007).

#### 6.4.3.2 Bilanzierung und zu berechnende Größen

##### Gesamte Massenbilanz

In den Bilanzraum treten die Massenströme Stickstoff und Brennstoff/Probe ein. Die bei der Entgasung entstehenden Produkte treten als Massenströme gasförmiger Komponenten, Koks, Wasser, Stickstoff des Pyrolysegases und Restmasse aus dem Bilanzraum aus. Pyrolysegas wird als Summe der durch die Stoffzerlegung entstehenden gasförmigen Komponenten  $i$  und des im Verlauf des Versuchs zugeführten Stickstoffs bezeichnet. Da die hier beschriebene Versuchsanlage instationär betrieben wird und der Brennstoff nicht als kontinuierlicher Massenstrom sondern einmalig eingetragen wird, ist es sinnvoll, die Massenbilanz über den gesamten Versuchszeitraum zu betrachten. Daraus leitet sich die Gleichung (2) ab. Durch diese Massenbilanz wird die trockene Restmasse  $m_{R,tr}$  ermittelt. Sie ist die Summe der Masse der flüssigen Bestandteile (z.B. Teer, Öle und durch Entgasung gebildetes Wasser) und der Masse der ungemessenen Gase (z.B. Propan, Ethen etc.), die bei der Entgasung entstanden sind.

$$m_{P,M2} + m_{N2,Sg,M1} = m_{K,M2} + m_{g,M3} + m_{H2O,Br} + m_{R,tr} + m_{N2,Pg,M3} \quad (2)$$

Durch die Waage in der Messstelle 2 wurde die Masse der Probe am Versuchsbeginn  $m_P$  sowie am Versuchsende  $m_K$  angegeben. Die Wassermenge der Probe wurde aus der Elementaranalyse berechnet (Gleichung (3)).

$$m_{H2O,Br} = m_{Br,M2} \cdot \xi_{H2O,Br} \quad (3)$$

Die Masse der Gase  $m_{g,M3}$  wird ausgehend von den Abgasanalysen-Messwerten berechnet. Sie ist die Summe der Masse der gemessenen gasförmigen Komponenten  $i$  ( $i = \text{CO}_2, \text{CO}, \text{CH}_4, \text{H}_2$ ) (Gleichung (4) und (5)).

$$m_{g,M3} = \sum m_{g,i,Pg,M3} \quad (4)$$

$$m_{g,i,Pg,M3} = \int_{t_a}^{t_e} \dot{V}_{n,i,Pg,M3,(t)} \cdot \rho_{n,i} \cdot dt = \int_{t_a}^{t_e} \dot{V}_{n,Pg,M3,(t)} \cdot \psi_{i,Pg,M3(t)} \cdot \rho_{n,i} \cdot dt \quad (5)$$

Der eintretende Stickstoffmassenstrom ergibt den austretenden Stickstoffmassenstrom, da angenommen wurde, dass Stickstoff im Laufe des Versuchs mit anderen Gasen nicht reagieren kann. Der eintretende Stickstoffmassenstrom wurde mit Gleichung (6) berechnet

$$m_{N2,Sg,M1} = m_{N2,Pg,M3} = \dot{V}_{n,N2,Sg,M1} \cdot t_v \cdot \rho_{n,N2} \quad (6)$$

$$t_v = t_e - t_a \quad (7)$$

Zur Berechnung des Normvolumens des Pyrolysegases wurde angenommen, dass der Normvolumenstrom des Stickstoffs konstant ist. Daraus ergibt sich die Gleichung (8)

$$\dot{V}_{n,N2} = \text{Konstant} \Rightarrow \dot{V}_{n,N2,M1} = \dot{V}_{n,N2,M3} \quad (8)$$

Der eintretende Stickstoffvolumenstrom ergibt sich aus dem Spülgasvolumenstrom und dem Volumenanteil des Stickstoffes im Spülgas (Gleichung (9)). Der Stickstoffvolumenstrom am Austritt wird mit der Gleichung (10) ermittelt

$$\dot{V}_{n,N2,M1} = \dot{V}_{n,Sg,M1} \cdot \psi_{N2,Sg,M1} \quad (9)$$

$$\dot{V}_{n,N2,M3} = \dot{V}_{n,Pg,M3,(t)} \cdot \psi_{N2,Pg,M3,(t)} \quad (10)$$

Wenn Gleichung (9) und (10) in Gleichung (8) eingesetzt werden, ergibt sich

$$V_{n,Pg,M3} = \int_{t_a}^{t_e} \frac{\psi_{N2,Sg,M1}}{\psi_{N2,Pg,M3,(t)}} \cdot \dot{V}_{n,Sg,M1} \cdot dt \quad (11)$$

$$\dot{V}_{n,Sg,M1} = \dot{V}_{n,N2,M1} = 300 \text{ [dm}^3\text{(n) / h]} \quad (12)$$

Der Volumenanteil des Stickstoffes im Spülgas beträgt  $1 \text{ m}^3 \text{ N}_2/\text{m}^3 \text{ Spülgas}$ , da das zugeführte Spülgas aus Stickstoff besteht. Der Volumenanteil des Stickstoffs im Pyrolysegas wird mittels Differenzmethode berechnet. Es wurde angenommen, dass sich die trockene gemessene Abgaskonzentration und die Stickstoffkonzentration zu 1 addieren (Gleichung (14)).

$$\psi_{N2,Sg,M1} = 1 \quad (13)$$

$$\psi_{N2,Pg,M3,(t)} = 1 - \sum \psi_{i,Pg,M3,(t)} \quad (14)$$

$$\psi_{N2,Pg,M3} = 1 - (\psi_{CO2,Pg,M3,(t)} + \psi_{CO,Pg,M3,(t)} + \psi_{CH4,Pg,M3,(t)} + \psi_{H2,Pg,M3,(t)} + \psi_{O2,Pg,M3,(t)}) \quad (15)$$

Abb.18 stellt beispielsweise die Massenbilanz der Thermowaage für Faserreste dar. Die Massenbilanz für andere untersuchte Textilabfälle ist im Anhang präsentiert.

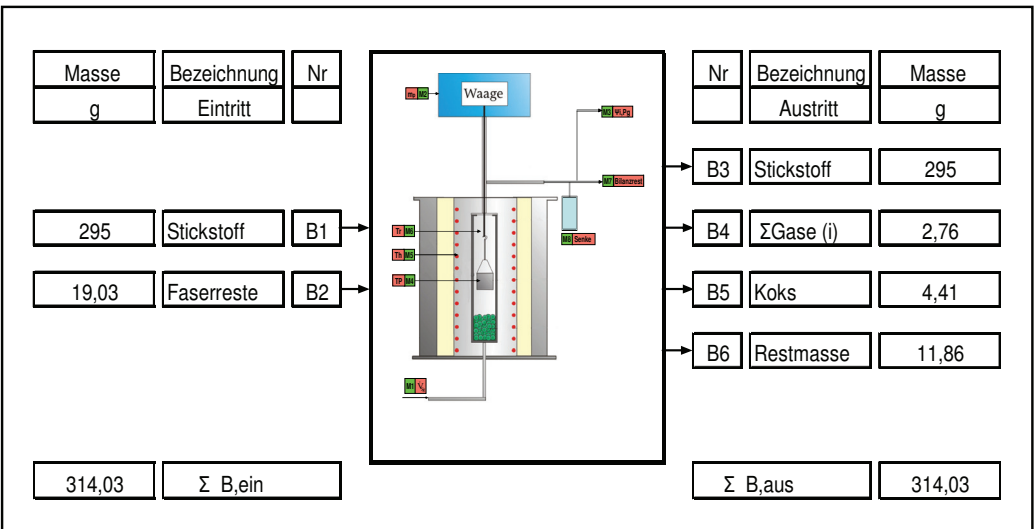


Abb.18: Massenbilanz der Thermowaage für Faserreste

## 6.5 Verbrennungsversuche auf dem Chargenrost

Die Verbrennung ist die chemische Reaktion eines Brenn- oder Abfallstoffs mit Sauerstoff, der in Form von Luft oder reinem Sauerstoff zugeführt werden kann. Bei stückigen Stoffen (z.B. Restabfall aus dem Hausmüll) finden unter überstöchiometrischen Bedingungen insgesamt die Teilschritte Trocknung, Entgasung, Vergasung und Restausbrand statt. Dieser Gesamtvorgang wird als Verbrennung bezeichnet (Scholz et al., 2001). Mit der Aufheizung des Feststoffs beginnt zunächst die Trocknungsphase bei Temperaturen um 100 °C. Dies kann entweder durch Strahlung oder durch konvektive Wärmeübertragung mittels eines Trägermediums wie Gas, Luft, Rauchgas erfolgen (Tabasaran, 1994.). Danach schließt sich die Entgasungsphase an. Dabei entstehen mehr und minder flüchtige Stoffe wie Kohlenwasserstoffe, niedermolekulare Verbindungen wie Kohlendioxid, Methan oder Wasser-, Schwefel- und Stickstoffverbindungen sowie eine flüssige Phase und Restkoks (Funk, 2007). Da die Zündtemperatur dieser Entgasungsprodukte relativ tief zwischen 250 °C und 350 °C liegt, würden sie sich bei Vorhandensein von Sauerstoff augenblicklich entzünden (Tabasaran, 1994.). Bei der Vergasung werden die nach der Entgasung im Pyrolysekoks noch verbleibenden Kohlenstoffanteile mit Hilfe eines Vergasungsmittels (Sauerstoff, Luft, Wasserdampf etc.) in ein Prozessgas (Spaltgas) umgewandelt, dessen Heizwert und Zusammensetzung vom Vergasungsmittel abhängen (Dirks, 2000). Schließlich erfolgt der Ausbrand des Restkohlenstoffs in der Asche bei maximal 1100 °C bei hohem Luftüberschuss (Nöthe, 1999). Die thermischen Verfahren sowie die thermische Prozessführung lassen sich von verschiedenen Größen beeinflussen. Die wesentlichen (Haupt-)Einflussgrößen thermischer Behandlungsverfahren sind Einsatzstoffe, Sauerstoffangebot, Reaktionsgase, Reaktorverhalten Verweilzeit, Temperatur, Druck, Zusatzstoffe und Art der Stoffzufuhr. Diese Haupteinflussgrößen sind in Scholz, 2001 ausführlich diskutiert. Mit der Chargenrost-Versuchsanlage können eine Vielzahl von Untersuchungen zu thermischen Verfahren durchgeführt werden. Dabei können die Haupteinflussgrößen für den Prozess in weiten Bereichen verändert werden. Dadurch können die Eignungsfähigkeit unterschiedlicher Brennstoffe und Reaktionsgase für die Verbrennung auf

einem Rost, das Zündverhalten, die Verschlackungsneigung, die Aschequalität, die Ausbrandgüte, die Abbrandgeschwindigkeit etc. untersucht werden. Ein wesentlicher Vorteil der Chargenrost-Versuchsanlage besteht darin, dass die Reaktionen grundsätzlich ähnlich zu realen Rostsystemen ablaufen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Verbrennungsverhalten der einzelnen Textilabfälle auf dem Festbettreaktor (Chargenrost) untersucht und mittels Kennzahlen beschrieben. Die Ergebnisse wurden mit dem Verbrennungsverhalten von Holzschnitzeln, das unter identischen Versuchsbedingungen untersucht wurde, verglichen und bewertet. Eine Kenntnis über das Abbrandverhalten ist notwendig, um einen stabilen Anlagenbetrieb bzw. Verbrennungsprozess bei einer energetischen Verwertung der Textilabfälle sowohl in Müllverbrennungsanlagen (MVA) als auch in der Zementindustrie zu gewährleisten.

### **6.5.1 Beschreibung der Versuchsanlage**

Der Chargenrost als Hauptbestandteil der Versuchsanlage setzt sich aus einer beweglichen Retorte (II) und einem feststehenden Feuerraum (I) zusammen (s. Abb.19). Feuerraum und Retorte, die mit Feuerfestmaterial und einer Isolierschicht ausgemauert sind, bestehen aus vier Segmenten. Der Feuerraum (I) wird aus den Segmenten 2 bis 4 gebildet, die über Flanschverbindungen fest miteinander verschraubt und abgedichtet sind. Alle Segmente haben eine Querschnittfläche von  $0,135 \text{ m}^2$  (450 mm x 300 mm). In jedem Segment des Feuerraumes befinden sich seitlich Messstellen zur Messung der Wand- sowie Raumtemperatur. Im unteren Bereich (Retorte, Teil II) befindet sich der Primärluftkasten und darüber die Rostretorte, die auch befüllt auf Schienen unter den Feuerraum (I) gerollt werden kann. Die Tiefe der Rostretorte beträgt 210 mm vom Rost bis zum oberen Ende des ersten Bereichs (II). Die Temperaturmessung im Brennstoffbett erfolgt durch fünf Thermoelemente, die an einer am Rost befestigten Vorrichtung senkrecht übereinander angebracht sind. Sie sind von unten nach oben mit TP1 bis TP5 bezeichnet. Darüber hinaus befindet sich am Rost selbst eine Messstelle zur Messung der Rosttemperatur TR. Neben der schematischen Darstellung der Chargenrost-Versuchsanlage in Abb.19 ist ein Foto zu sehen, auf dem man die Bestandteile der Anlage erkennen kann.

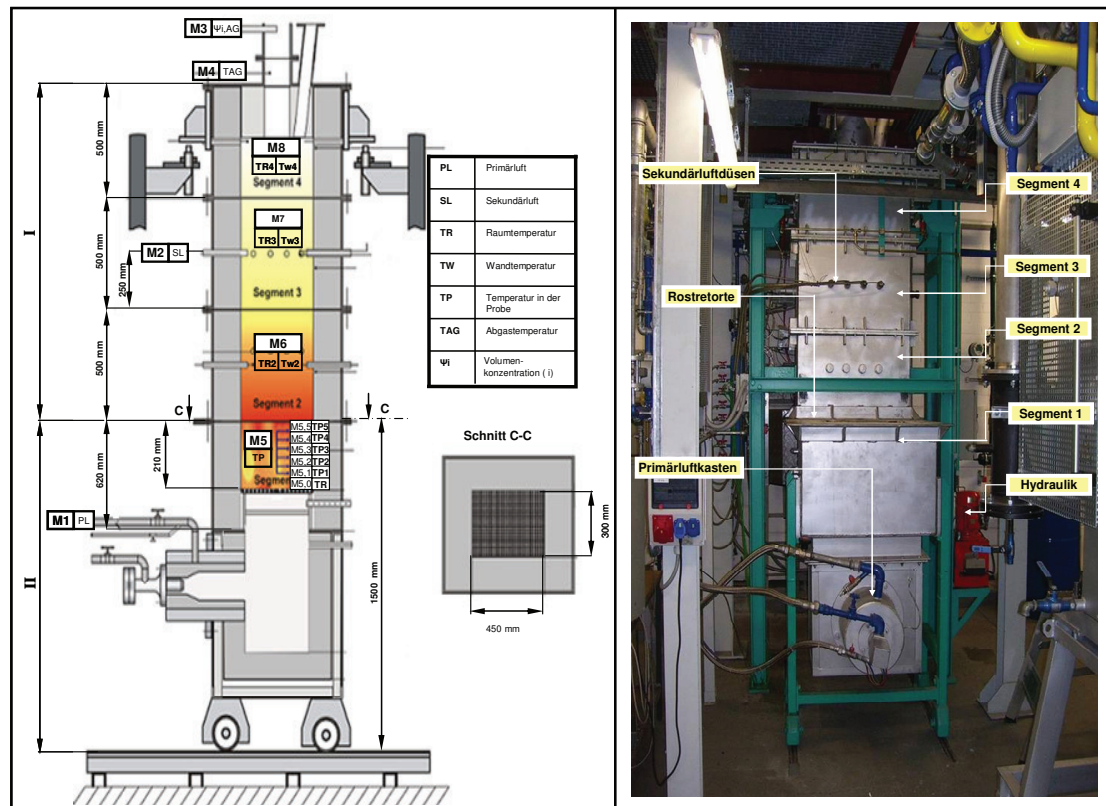


Abb.19: Schematische Darstellung und Foto der Chargenrost-Versuchsanlage

Über eine Hydraulik wird der Feuerraum (I) dicht auf der Rostretorte abgesetzt. Als Dichtung fungiert ein Klebsand, der sich sehr gut an der Oberfläche anpasst. Die Primärluft kann im Primärluftkasten vorgewärmt werden, was aber bei den Versuchen nicht realisiert wurde. Die 8 Sekundärluftdüsen befinden sich im Raumsegment (3), 750 mm oberhalb des ersten Bereichs (II). Die Regelung der Luftzufuhr erfolgt manuell über Ventile, und die Volumenströme für Sekundär- und Primärluft werden mit den Blenden gemessen. In dieser Anlage wird die Brennstoffprobe, wie bei bewegten Rostsystemen, durch Strahlungsenergie oder Strahlungswärme der Feuerraumwände gezündet und brennt von oben nach unten ab. Um die Temperatur vor den Versuchen auf das richtige Niveau zu bringen, nutzt man einen atmosphärischen Erdgasbrenner, der seitlich im Wechsel mit der Rostretorte unter den Feuerraum (I) geschwenkt werden kann. Die Abgase verlassen den Reaktor an der Oberseite des Feuerraumes (I) und das Absaugen

der Abgase erfolgt durch einen separaten Ventilator. Die Konzentrationen der Abgaskomponenten  $O_2$ ,  $CO$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2$  werden kontinuierlich durch ein Messwerterfassungssystem analysiert. Zur Betriebssicherheit des Messwerterfassungssystems und zur Gewährleistung der Messgenauigkeit sind die Gasanalysatoren sowohl vor Staub als auch vor Kondensat zu schützen. Aus diesem Grund wurden die Staubabscheidung und die Kondensatabtrennung durch ein vorgeschaltetes Abgasaufbereitungssystem realisiert. Der Abgasaufbereitungsprozess gliedert sich in folgende Stufen:

- Messgasentnahme,
- Messgasentstaubung,
- Messgaskühlung und Kondensatabscheidung,
- Messgasförderung zum Abgasanalysensystem.

### **6.5.2 Versuchsdurchführung**

Bei den Untersuchungen wurde zunächst das Abbrandverhalten der einzelnen Brennstoffe (Textilabfälle) auf dem Rost untersucht. Alle Versuche wurden unter identischen Bedingungen durchgeführt, um die Vergleichbarkeit ermöglichen zu können. Die Arbeitsweise der Chargen-Versuchsanlage über die Zeit kann in nacheinander durchgeführte Schritte eingeteilt werden:

#### 1. Einstellung der Randbedingung

Für die Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse ist die Einhaltung definierter Randbedingungen besonders wichtig. Bei den Versuchen wurden:

- die Volumenströme von Primärluft auf  $10 \text{ m}^3 (\text{n})/\text{h}$  und von Sekundärluft auf  $40 \text{ m}^3 (\text{n})/\text{h}$  eingestellt
- die Temperaturen der Feuerraumwände vor den Versuchen auf das Niveau von  $875 \text{ }^\circ\text{C}$  gebracht
- konstante Brennstoffbetthöhen ( $110 \text{ mm}$ ) eingesetzt. Die bei den Untersuchungen eingesetzten Brennstoffmengen für eine konstante Betthöhe von  $110 \text{ mm}$  sind unterschiedlich, da die Brennstoffe unterschiedliche Formen und Dichten aufweisen.

## 2. Aufheizen der Feuerraumwände

Für das Aufheizen der Feuerraumwände wird die Retorte hervorgezogen und der Erdgasbrenner unter dem Feuerraum (I) positioniert. Die Dauer des Aufheizevorganges beträgt im kalten Zustand ca. 6-7 Stunden. Ist die Temperatur im Segmentraum 2 auf das Niveau 875 °C gebracht, wird der Erdgasbrenner ausgeschaltet und mit dem Versuch angefangen.

## 3. Vorbereiten des Brennstoffes und des Rostes

Vor der Füllung der Rostretorte wurde der Rost gereinigt und geprüft, ob alle am Rostboden existierenden Löcher frei sind. Dieser Schritt ist wichtig, um die gleichmäßige Primärluftverteilung während des Versuchs sicherzustellen. Die Brennstoffe wurden bei den Untersuchungen eingesetzt, wie sie an ihrer Quelle anfallen, da die Aufbereitung des Brennstoffs für die Verbrennung, z.B. Zerkleinerung, einen hohen Aufwand erfordert. Die zusammengestellte und abgewogene Brennstoffcharge wird nun auf den Rost gegeben. Es ist darauf zu achten, dass dabei die Thermoelemente nicht abgebrochen bzw. verbogen werden. Darüber hinaus wurde bei der Brennstoffvorbereitung auf dem Rost die Betthöhe gemessen und auf 110 mm eingestellt.

## 4. Verbrennung der Brennstoffcharge

Nach der Aufheizphase der Feuerraumwände und der Vorbereitung des Brennstoffes sowie des Rostes wird die Retorte unter den Feuerraum (I) geschoben, der sich mit Hilfe einer hydraulischen Vorrichtung wieder auf der Retorte absetzt. Dies wird als der Beginn des Versuches und der Aufzeichnung der Messwerte für den Versuch betrachtet. Die für die Zündung des Brennstoffes erforderliche Energie erfolgt durch Wärmestrahlung von den aufgeheizten Feuerraumwänden. Der Versuch dauert, bis das Kriterium für das Versuchsende erfüllt wird.

## 5. Versuchsende

Für die Festlegung des Versuchsendes gibt es drei wesentliche Kriterien, die mit dem Abschluss des Feststoffumsatzes zusammenhängen:

- Kohlenstoffdioxid- und Kohlenstoffmonoxidkonzentration im Abgas,
- Sauerstoffkonzentration im Abgas,
- Betttemperaturen.



Für den Abbruch des Versuches muss jedes Kriterium einen bestimmten Wert erreichen. Sinken Kohlenstoffdioxid- und Kohlenstoffmonoxidkonzentration im Abgas auf 0 Vol-% ab, deutet das auf das Ende des Kohlenstoffumsatzes hin. Wenn auch kein Sauerstoff mehr umgesetzt wird, steigt die Sauerstoffkonzentration im Abgas bis auf 21 Vol-% an, was auf das Versuchsende schließen lässt. Darüber hinaus wird keine Wärme aus dem Brennstoffbett freigesetzt, wenn die Betttemperaturen deutlich als Tendenz nach unten fallen, was auch als ein Kriterium für das Versuchsende gilt. Die Inbetriebnahmeversuche werden beendet, wenn das oben genannte Kriterium für die Kohlenstoffdioxid- und Kohlenstoffmonoxidkonzentration im Abgas erfüllt ist. Die Abgaskonzentrationen werden an der Messstelle 3 in der Abb.19 gemessen und in Vol-% bzw. ppm „trocken“ angegeben. Nach Beenden des Versuchs wurde die Retorte wieder herausgezogen und auf die Umgebungstemperatur abgekühlt. Danach wurde der feste Verbrennungsrückstand (Asche) gesammelt und gewogen.

### **6.5.3 Versuchsauswertung**

#### **6.5.3.1 Messungen und Ergebnisse**

Die Verbrennungsprodukte setzen sich aus dem Rauchgas und aus der Asche zusammen. In jedem Versuch an der Chargenrost-Versuchsanlage wurden folgende gemessene Größen angegeben:

- Wand-, Feuerraum- und Betttemperaturen,
- Abgastemperatur,
- Primärluft- und Sekundärluftvolumenstrom, sowie
- Konzentrationen der Abgaskomponenten ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ,  $H_2$ ),
- Masse des Brennstoffs und der Verbrennungsrückstände (Asche).

Die Temperaturen an allen Messstellen und die Rauchgaszusammensetzung, die abhängig von der chemischen Brennstoffeigenschaft ist, werden kontinuierlich während des Versuchs gemessen und gespeichert. Die Brennstoffmasse und die Masse der Verbrennungsrückstände werden vor sowie nach jedem Versuch gewogen. Das Reaktionsgas, das sich in Primärluft- und Sekundärluft teilt, wird vor dem Versuchsbeginn eingestellt und durch Blenden gemessen. Neben den

angegebenen gemessenen Größen werden für die Versuchsauswertung verschiedene Größen berechnet, die im nächsten Abschnitt erklärt werden. Abb. 20 und Abb. 21 präsentieren den zeitlichen Temperaturverlauf im Gutbett und die Rauchgasanalyse bei der Untersuchung zur Verbrennung der Bekleidungsreste. Die Ergebnisse der Abgasanalyse und zeitlichen Temperaturverläufe im Gutbett für die anderen untersuchten Textilabfälle sind im Anhang angegeben.

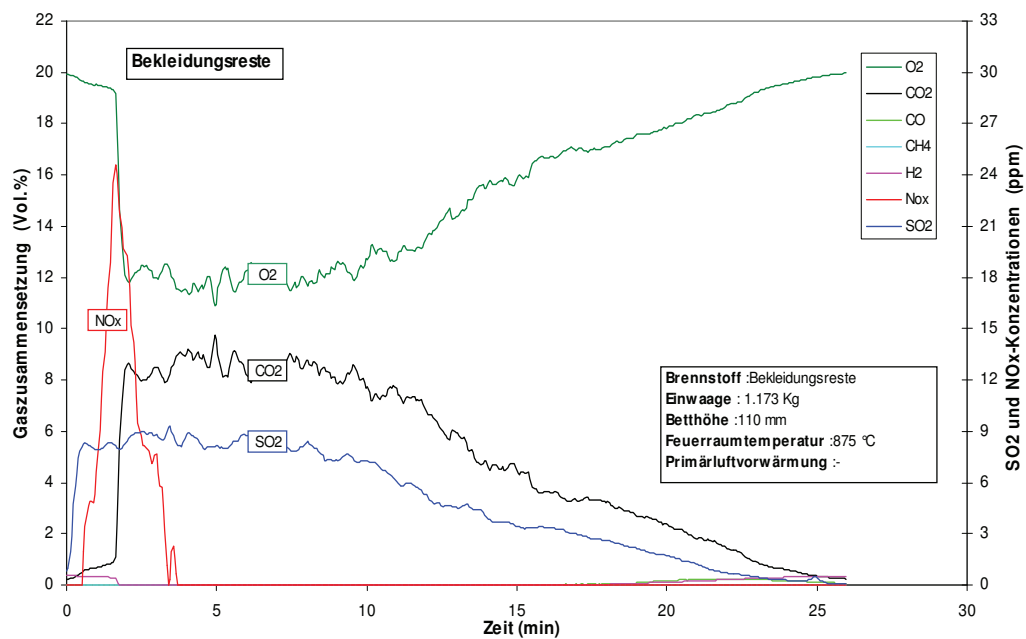


Abb. 20: Abgaskonzentrationen bei der Verbrennung von Bekleidungsresten

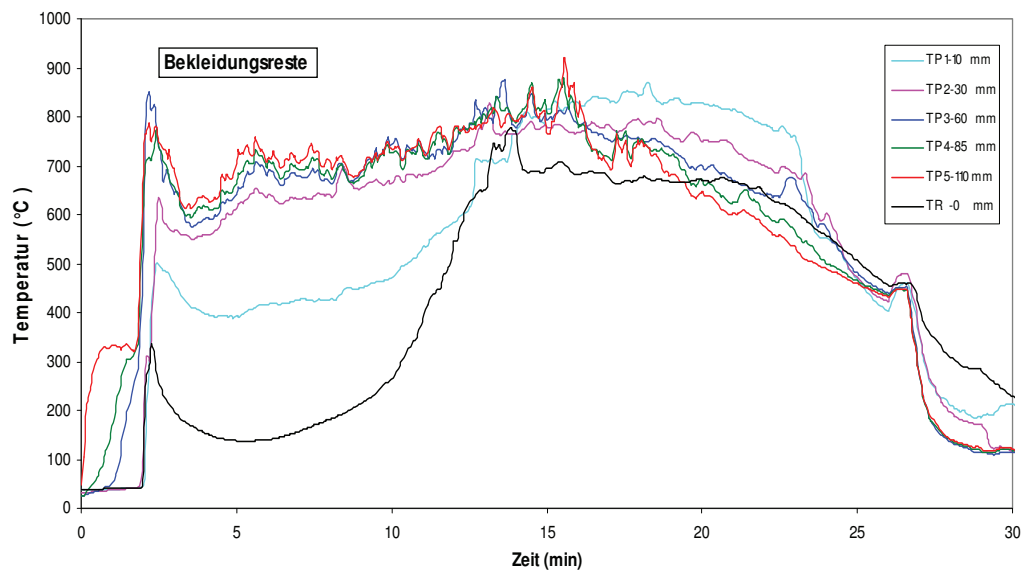


Abb. 21: Temperaturverlauf im Bett bei der Verbrennung der Bekleidungsreste

### 6.5.3.2 Bilanzierung und zu berechnende Größen

Die Vorteile der Bilanzierung bestehen einerseits in der Plausibilitätskontrolle der gemessenen Größen wie z.B. dem Überprüfen der gemessenen Abgaskonzentration und andererseits in der Ermittlung anderer zu bestimmender Größen wie z.B. des Wärmeverlustes der Anlage.

#### Gesamte Massenbilanz

Aufgrund des instationären Betriebs der Chargenrost-Versuchsanlage und des einmaligen Brennstoffeintrags wird die Massenbilanz über den gesamten Versuchszeitraum betrachtet. In den Bilanzraum treten die Masse der Luft (Reaktionsgas)  $m_{Lges}$  und des Brennstoffs  $m_{Br}$  ein. Die bei der Reaktion entstehenden Verbrennungsprodukte treten als Masse des Abgases  $m_{AG}$  und der Asche  $m_A$  aus dem Bilanzraum aus. Aus den ein- und austretenden Massen leitet sich die Gleichung (16) ab.

$$m_{Br,M5} + m_{PL,M1} + m_{SL,M2} = m_{A,M5} + m_{H_2O,Br} + m_{AG,M3} \quad (16)$$

Die Gesamtmasse des Reaktionsgases ist die Summe der Masse der zugeführten Primär- und Sekundärluftmenge (Gleichung (17)). Die Wassermenge des Brennstoffs wird mit Hilfe der Elementanalyse berechnet (Gleichung (18)).

$$m_{PL,M1} + m_{SL,M2} = m_{Lges} = \dot{V}_{n,Lges} \cdot t_v \cdot \rho_{n,L} \quad (17)$$

$$m_{H_2O,Br} = m_{Br,M5} \cdot \xi_{H_2O,Br} \quad (18)$$

Die Masse der Abgase  $m_{AG, M3}$  besteht aus der Masse der gemessenen gasförmigen Komponente  $i$  und aus der Masse des Stickstoffs, der sich im Abgas befindet (Gleichung (19) bis (21)).

$$m_{AG,M3} = \sum m_{i,AG,M3,(t)} + m_{N_2,AG,M3,(t)} \quad (19)$$

$$m_{i,AG,M3} = \int_{t_a}^{t_e} \dot{V}_{n,i,AG,M3,(t)} \cdot \rho_{n,i} \cdot dt = \int_{t_a}^{t_e} \dot{V}_{n,AG,M3,(t)} \cdot \psi_{i,AG,M3,(t)} \cdot \rho_{n,i} \cdot dt \quad (20)$$

$$m_{N_2,AG,M3} = \int_{t_a}^{t_e} \dot{V}_{n,AG,M3,(t)} \cdot \psi_{N_2,AG,M3,(t)} \cdot \rho_{n,N_2} \cdot dt \quad (21)$$

Die Masse des eingesetzten Brennstoffes  $m_{Br,M5}$  und die Masse der Asche  $m_{A,M5}$  werden vor sowie nach jedem Versuch durch Wägung bestimmt.

### **Stoffbilanz**

Neben der gesamten Massenbilanz wurde die Bilanz für einige Elemente (für C und O) aufgestellt. Die Stoffbilanz validiert die Messwerte.

#### **Berechnung der Kohlenstoffbilanz**

In den Bilanzraum tritt die Masse des Brennstoffkohlenstoffs ein. Die austretende Masse stellt die Kohlenstoffmasse, die sich im Abgas befindet, dar [Gleichung (22)]. Die eintretende Kohlenstoffmasse wurde mit Hilfe der Elementanalyse ermittelt [Gleichung(23)]. Die gesamte Kohlenstoffmasse im Abgas ist die Summe der Kohlenstoffmasse, die aus den kohlenstoffhaltigen Komponenten  $i$  ( $i = CO, CO_2, CH_4$ ) ermittelt wird [Gleichung (24)und(25)]. Die Kohlenstoffmasse in der kohlenstoffhaltigen Komponente  $i$  ergibt sich aus dem Volumen und der Dichte der

Komponente i und aus dem Massenanteil des Kohlenstoffs in der Komponente i [Gleichung(26)].

$$m_{C,Br,M5} = m_{C,AG,M3} \quad (22)$$

$$m_{C,Br,M5} = m_{Br,M5} \cdot \xi_{C,Br} \quad (23)$$

$$m_{C,AG,M3} = \sum m_{C,i,AG,M3,(t)} \quad (24)$$

$$m_{C,AG,M3} = m_{C,CO2,AG,M3,(t)} + m_{C,CO,AG,M3,(t)} + m_{C,CH4,AG,M3,(t)} \quad (25)$$

$$m_{C,i,AG,M3} = \int_{t_a}^{t_e} \dot{V}_{n,i,AG,M3,(t)} \cdot \rho_{n,i} \cdot \xi_{C,i} \cdot dt = \int_{t_a}^{t_e} \dot{V}_{n,AG,M3,(t)} \cdot \psi_{i,AG,M3,(t)} \cdot \rho_{n,i} \cdot \xi_{C,i} \cdot dt \quad (26)$$

$$m_{C,CO2,AG,M3} = \int_{t_a}^{t_e} \dot{V}_{n,AG,M3,(t)} \cdot \psi_{CO2,AG,M3,(t)} \cdot \rho_{n,CO2} \cdot \xi_{C,CO2} \cdot dt \quad (27)$$

$$m_{C,CO,AG,M3} = \int_{t_a}^{t_e} \dot{V}_{n,AG,M3,(t)} \cdot \psi_{CO,AG,M3,(t)} \cdot \rho_{n,CO} \cdot \xi_{C,CO} \cdot dt \quad (28)$$

$$m_{C,CH4,AG,M3} = \int_{t_a}^{t_e} \dot{V}_{n,AG,M3,(t)} \cdot \psi_{CH4,AG,M3,(t)} \cdot \rho_{n,CH4} \cdot \xi_{C,CH4} \cdot dt \quad (29)$$

$$\xi_{C,i} = \frac{M_C}{M_i} \Rightarrow \xi_{C,CO2} = \frac{12}{44}, \xi_{C,CO} = \frac{12}{28}, \xi_{C,CH4} = \frac{12}{16} \quad (30)$$

### Berechnung der Sauerstoffbilanz

Die eintretende Sauerstoffmasse setzt sich aus der Masse des Brennstoff-sauerstoffs und aus der Sauerstoffmasse der zugeführten Luft zusammen. Im Gegensatz dazu stellt die Sauerstoffmasse im Abgas die austretende Masse dar [Gleichung (31)]. Die Brennstoffsauerstoffmenge lässt sich aus der Element-analyse ermitteln [Gleichung (32)]. Die Sauerstoffmasse der Luft ergibt sich aus der Sauerstoffmasse der Primärluft und Sekundärluft [Gleichung (33)].

$$m_{O,Br,M5} + m_{O,Lges} = m_{O,AG,M3} \quad (31)$$

$$m_{O,Br,M5} = m_{Br,M5} \cdot \xi_{O,Br} \quad (32)$$

$$m_{O,Lges} = V_{n,PL,M1} \cdot \psi_{O2,PL} \cdot \rho_{n,O2} + V_{n,SL,M2} \cdot \psi_{O2,SL} \cdot \rho_{n,O2} \quad (33)$$

$$V_{n,PL,M1} = \dot{V}_{n,PL,M1} \cdot t_v \quad (34)$$

$$V_{n,SL,M2} = \dot{V}_{n,SL,M2} \cdot t_v \quad (35)$$

Die Versuchszeit  $t_v$  ist die Zeitdifferenz zwischen Versuchsende  $t_e$  und Versuchsbeginn  $t_a$ .

$$t_v = t_e - t_a \quad (36)$$

Die gesamte Sauerstoffmasse im Abgas ist die Summe der Sauerstoffmasse, die aus den sauerstoffhaltigen Komponenten  $i$  ( $i = \text{CO}, \text{CO}_2, \text{SO}_2, \text{NO}$ ) und aus dem Sauerstoffgehalt des Abgases ermittelt wird [s. Gleichung (37) bis (39)].

$$m_{O,AG,M3} = \sum m_{O,i,AG,M3,(t)} + m_{O2,AG,M3(t)} \quad (37)$$

$$m_{O,AG,M3} = m_{O,CO2,AG,M3,(t)} + m_{O,CO,AG,M3,(t)} + m_{O,SO2,AG,M3,(t)} + m_{O,NO,AG,M3,(t)} + m_{O2,AG,M3(t)} \quad (38)$$

$$m_{O,i,AG,M3} = \int_{t_a}^{t_e} \dot{V}_{n,i,AG,M3,(t)} \cdot \rho_{n,i} \cdot \xi_{O,i} \cdot dt = \int_{t_a}^{t_e} \dot{V}_{n,AG,M3,(t)} \cdot \psi_{i,AG,M3,(t)} \cdot \rho_{n,i} \cdot \xi_{O,i} \cdot dt \quad (39)$$

### **Energiebilanz**

Die eintretende Energie ergibt sich aus der Brennstoffmasse und dem Heizwert des Brennstoffs. Die austretende Energie wird als Multiplikation der Abgasenthalpie mit dem Abgasvolumen bezeichnet [Gleichung (40)].

$$Hu \cdot m_{Br} = H_{AG,M3} = h_{AG,M3} \cdot V_{AG,M3} \quad (40)$$

Die Abgasenthalpie berechnet sich aus

$$h_{AG,M3} = c_{pm,AG} \cdot T_{AG} \quad (41)$$

Die mittlere spezifische Wärmekapazität der Gasmischung „Verbrennungsabgas“ wird nach der Mischungsregel berechnet.

$$c_{pm,AG} \Big|_0^{T_{AG}} = \sum c_{pm(i)} \Big|_0^{T_{AG}} \cdot \psi_{i,AG,M3} \quad (42)$$

Die spezifische Wärmekapazität von Gasen wurde mit Hilfe eines Polynoms 4. Grades approximiert (Steinbrecht, 2007[a]).

$$c_{pm(i)} \Big|_0^{T_{AG}} = A(i,0) + A(i,1) \cdot T_{AG} + A(i,2) \cdot T_{AG}^2 + A(i,3) \cdot T_{AG}^3 + A(i,4) \cdot T_{AG}^4 \quad (43)$$

Die Koeffizienten A liegen für verschiedene Gaskomponenten vor und sind im Anhang aufgeführt. Abb. 22 stellt die Massen- und Energiebilanz der Chargenrost-Versuchsanlage bei der Verbrennung der Bekleidungsreste dar. Die Bilanz für die anderen untersuchten Brennstoffe ist im Anhang dargestellt.

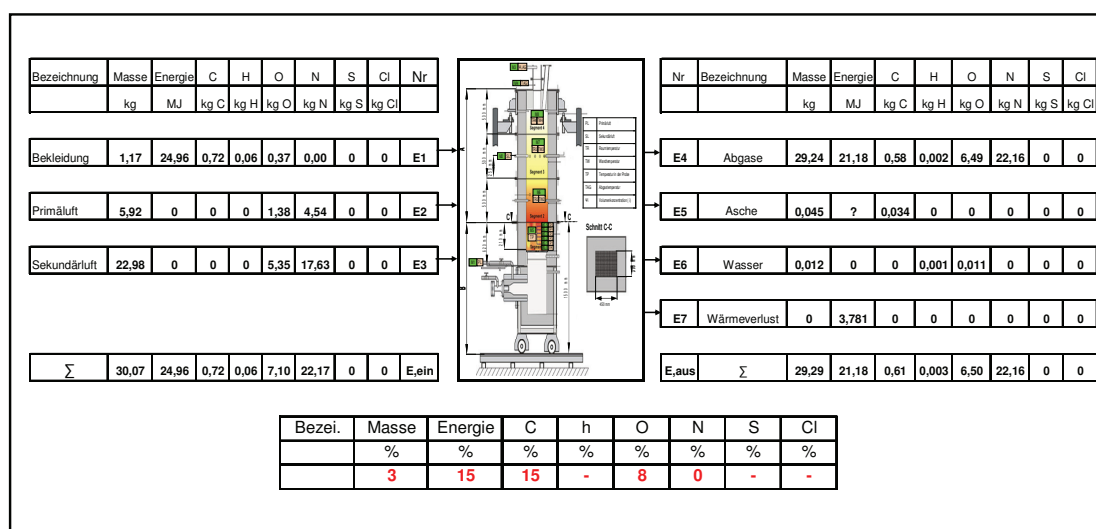


Abb. 22: Massen- und Energiebilanz für Bekleidungsreste

### Berechnung des Normvolumens der Abgase

Das Abgasnormvolumen wurde durch folgende Annahmen berechnet:

- Normvolumenstrom des Stickstoffs ist konstant.
- Es findet keine Oxidation des Luftstickstoffs statt.
- Der Brennstoffstickstoff geht vollständig in die Stickstoffoxide über.

Der eintretende Stickstoffvolumenstrom bestimmt den austretenden Strom (Gleichung (45)). Die Berechnung des Stickstoffvolumenstroms beim Eintritt der Luft und beim Austritt als Abgas ist in den Gleichungen (46) und (47) angegeben.

$$\dot{V}_{n,Lges} = \dot{V}_{n,PL,M1} + \dot{V}_{n,SL,M2} = 50 \frac{m^3(n)L}{h} \quad (44)$$

$$\dot{V}_{n,N2,Lges} = \dot{V}_{n,N2,AG,M3} \quad (45)$$

$$\dot{V}_{n,N2,Lges} = \dot{V}_{n,Lges} \cdot \psi_{N2,L} \quad (46)$$

$$\dot{V}_{n,N2,AG,M3} = \dot{V}_{n,AG,M3,(t)} \cdot \psi_{N2,AG,M3,(t)} \quad (47)$$

Die Gleichungen (46) und (47) eingesetzt in Gleichung (45) ergeben:

$$V_{n,AG,M3} = \int_{t_a}^{t_e} \frac{\psi_{N2,L}}{\psi_{N2,AG,M3,(t)}} \cdot \dot{V}_{n,Lges} \cdot dt \quad (48)$$

$$\psi_{N2,L} = 0,79 \frac{m^3(n) N_2}{m^3(n) Luft} \quad (49)$$

Der Stickstoffgehalt des Abgases  $\psi_{N2, AG, M3}$  wird als Differenz der trocken gemessenen Abgaskonzentrationen zu 1 bestimmt (Gleichung (50)).

$$\psi_{N2,AG,M3,(t)} = 1 - \sum \psi_{i,AG,M3,(t)} \quad (50)$$



### **6.5.3.3 Beschreibung des Verbrennungsverhaltens**

Bei einer energetischen Verwertung der Textilabfälle ist eine Kenntnis über das Verbrennungsverhalten bzw. Abbrandverhalten notwendig, um den Anlagenbetrieb und den Verbrennungsprozess zu stabilisieren. Im Rahmen dieser Arbeit wird das Verbrennungsverhalten der Textilabfälle untersucht und durch Kennzahlen beschrieben. Als Kenngröße zur quantitativen Beschreibung des Abbrandverhaltens von Textilabfällen werden die Reaktionsfrontgeschwindigkeit (auch Abbrandgeschwindigkeit genannt) und die Zündrate betrachtet. Unter der Abbrandgeschwindigkeit versteht man die zeitliche Entwicklung des Abbrandes von Textilabfällen in mm/min. Bei der Verbrennung fester Brennstoffe lässt sich die Abbrandgeschwindigkeit von verschiedenen Faktoren beeinflussen. Feuchtigkeitsgehalt, Gehalt an flüchtigen Bestandteilen, Primärluftmenge, Lufttemperatur, Partikelform und -größe sowie Schüttdichte des Brennbetts sind als wichtige Einflussgrößen anzusehen (Horttanainen, Saastamoinen, & Sarkomaa, 2000). Um das Abbrandverhalten der Textilabfälle mit anderen Festbrennstoffen vergleichen zu können, werden Holzschnitzel unter identischen Versuchsbedingungen in der Chargenrost-Versuchsanlage verbrannt. Die Hackschnitzelgröße liegt unter 20 x 20 x 5 mm aber in Ausnahmefällen können Stücke auftreten, die eine maximale Größe von 50 x 50 x 10 mm haben. Auf der Basis des Gutbetttemperaturverlaufs (s. Abb. 23) wird die Reaktionsfrontgeschwindigkeit (s. Abb. 24) abgeleitet.

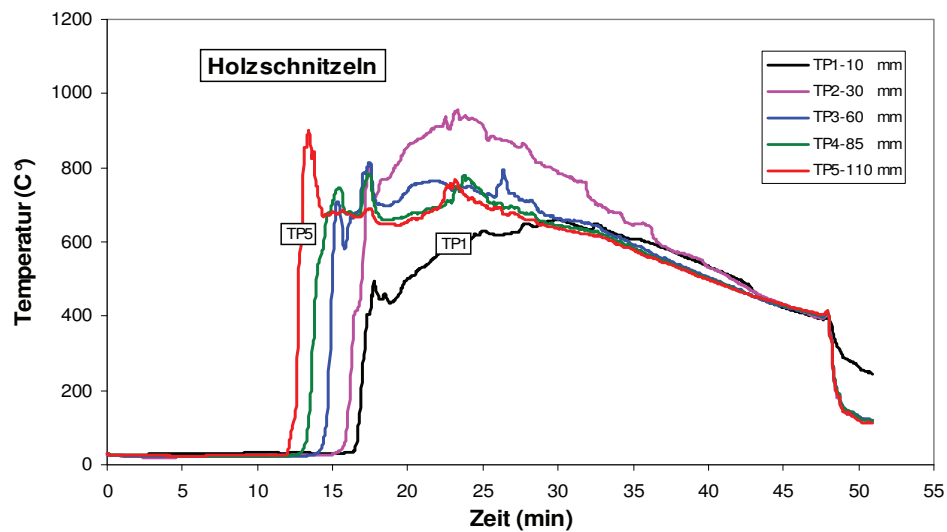


Abb. 23: Temperaturverlauf im Gutbett von Holzschnitzeln

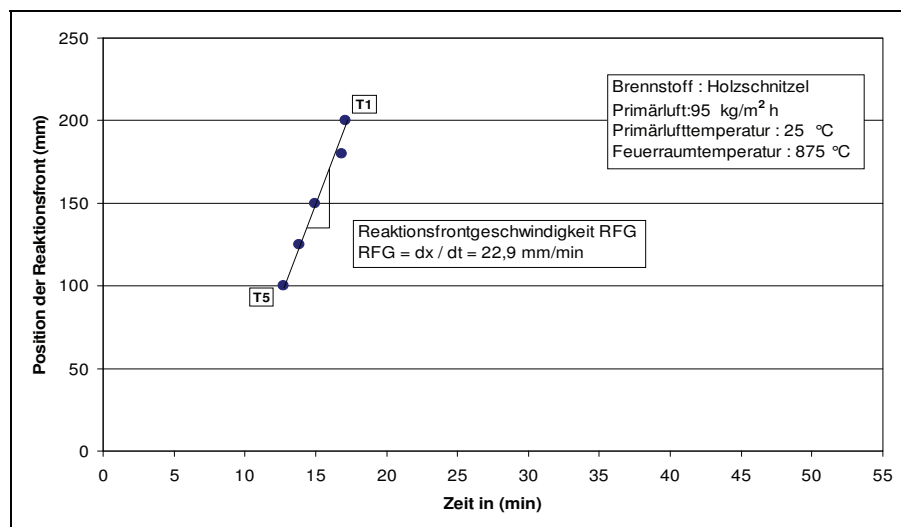


Abb. 24: Reaktionsfrontgeschwindigkeit

Die Position der Reaktionsfront wird hierbei wie nach Kolb et al, 2009 definiert als der Wendepunkt der über der Versuchszeit aufgetragenen Temperaturkurve, da in diesem Punkt der Anstieg der Gutbetttemperatur infolge der Zündung der flüchtigen Bestandteile maximal ist. Abb. 24 stellt den Verlauf der von oben nach unten durch das Festbett fortschreitenden Reaktionsfront über der Versuchszeit dar. Die Steigung dieser Geraden ist die Reaktionsfrontgeschwindigkeit (RFG).

Wird die Reaktionsfrontgeschwindigkeit mit der Schüttdichte des Brennstoffes multipliziert, bekommt man eine Angabe über die Zündrate, die die gezündete Gutbettmasse pro Rostfläche durch das Fortschreiten der Reaktionsfront beschreibt. Die Untersuchungsergebnisse sind in Tab. 19 angegeben.

Tab. 19: Reaktionsfrontgeschwindigkeit und Zündrate von Textilreststoffen

Bezeichnung		Eingesetzte Masse	Schüttdichte	Reaktionsfrontgeschwindigkeit	Zündrate
Symbol		$m_p$	$\rho_{sch}$	RFG	ZR
Einheit		kg	kg/m <sup>3</sup>	mm/min	kg/m <sup>2</sup> s
<b>Brennstoffe</b>	Holzschnitzel	2.647	178.24	22.9	0.07
	Fadenreste	0.45	30.30	222.22	0.11
	Teppichreste	1.05	70.71	227.27	0.26
	Bekleidungsreste	1.17	78.79	370.37	0.49
	Webstoffreste	0.65	43.77	149.25	0.11
	Industrielles Gummiband	0.8	53.87	263.16	0.24
	Normales Gummiband	1.63	109.76	140.85	0.26

Bei der Verbrennung einzelner Brennstoffe wurden die Faserreste unter den eingestellten Versuchsbedingungen nicht verbrannt. Nach dem Versuch wurde herausgefunden, dass sich eine Kunststoffplatte aus den Faserresten auf dem Rost gebildet hat (s. Abb. 25).



Abb. 25: Unverbrannte und verbrannte Faserreste

## 6.6 Auswertung und Interpretation der gewonnen Ergebnisse

Die Ergebnisse der Brennstoffcharakterisierung deuten darauf hin, dass die Textilabfälle als gute Energiequelle gelten und eine sehr gute Brennstoffqualität haben. Sie zeichnen sich durch einen hohen Heizwertgehalt ( $H_u$  19-32 MJ/kg) und einen hohen Gehalt an brennbaren Bestandteilen ( $\xi_{\text{brenn,Br}}$  90-99 Mass. %) aus, die als Summe von flüchtigen Bestandteilen und fixem Kohlenstoff betrachtet werden. Da sich die brennbaren Bestandteile im Wesentlichen aus flüchtigen Bestandteilen ( $\xi_{\text{F,Br}}$  73-89 Mass. %) zusammensetzen, zünden die Textilabfälle sehr gut. Als Folge muss speziell in Bewegtrostanlagen der Hauptteil der Primärluftzufuhr schon in den ersten Rostzonen erfolgen. Des Weiteren weisen die Textilabfälle einen geringen Aschanteil (max. 10 Mass.%) und einen niedrigen Chlorgehalt (max. 0,02 Mass.%) auf. Die Charakterisierung der Textilabfälle wird als erster und wichtiger Schritt bei der Planung und dem Aufbau einer thermischen Behandlungsanlage angesehen. Dadurch bekommt man einen Überblick über die Leistung und Größe der Anlage, über die Emissionen, und die notwendigen Schritte für die Abgasreinigung und Prognose zur Schadensgefahr (Korrosion). Außerdem dient die Charakterisierung zur Berechnung und Festlegung verschiedener Parameter, die zur Steuerung und zum optimalen Ablauf des Verbrennungsprozesses führen können. Bei der thermogravimetrischen Analyse schwankt je nach Textilabfallart die gesamte stattgefundene Massenabnahme zwischen 60-83 Mass. % und beginnt die Massenänderung im Temperaturbereich 158-456 °C und endet im Temperaturbereich 529-681 °C. Die thermogravimetrische Analyse hat auch gezeigt, dass die kondensierbaren Bestandteile wie Teer und Öle die Hauptpyrolyseprodukte darstellen und sehr wenig heizwertreiche Gase aus Textilabfällen produziert werden. Aufgrund der Schwierigkeiten der energetischen oder stofflichen Verwertung von Ölen und Teeren in Syrien empfiehlt es sich, die untersuchten Textilabfälle für die Herstellung heizwertreicher Gase nicht zu pyrolysieren. Die Verbrennungsuntersuchungen im Charginrost haben gezeigt, dass die thermische Verwertung untersuchter Textilabfälle außer Faserreste im Rostfeuerungs-system realisiert werden kann. Die Faserreste sind bei ausgewählten Bedingungen nicht verbrannt.

Der Einsatz dieser Stoffe im Rostsystem verursacht möglicherweise Probleme wie zum Beispiel das Behindern des Eintritts von Primärluft. Hier ist es notwendig, die thermische Verwertung der Faserreste in einem anderen Verfahren wie z.B. „Wirbelschichtfeuerung“ zu untersuchen. Die experimentellen Ergebnisse zeigen eindeutig, dass das Verbrennungsverhalten der Textilabfälle unter identischen Versuchsbedingungen sehr unterschiedlich ist (z.B. normales Gummiband erfordert eine lange Verbrennungszeit im Vergleich mit den Teppichresten). Die Textilabfälle haben im Vergleich zu Holzschnitzeln eine hohe Reaktionsfrontgeschwindigkeit bzw. Zündrate. Die Reaktionsfrontgeschwindigkeit der Textilien ist mindestens sieben Mal größer als die der Holzschnitzel. Unter identischen Versuchsbedingungen wird für die Bekleidungsreste im Vergleich zu den anderen Textilabfällen eine deutlich höhere Abbrandgeschwindigkeit ermittelt. Im Gegensatz dazu weisen die Gummibänder die niedrigste auf. Das Abbrandverhalten, hier durch eine hohe Reaktionsfrontgeschwindigkeit und Zündrate bestimmt, kann zu einem entsprechend hohen Zünd- und Brennstoffumsatz am Rostanfang führen. Um die Bildung der Flamme am Rostbeginn zu vermeiden, soll der Brennstoffumsatz in die Rostmitte verlagert werden. Dies kann durch die gezielte Beeinflussung verschiedener Verbrennungsparameter, wie z.B. die Primärluftverteilung realisiert werden. Weiterhin deuten die hohe Reaktionsfrontgeschwindigkeit und Zündrate darauf hin, dass der Einsatz der Textilabfälle in einer Müllverbrennungsanlage (Mitverbrennung) die Reaktivität des Brennstoffs erhöhen kann. Dies kann aber bei einer konstanten Luftzuführung zur Beeinflussung der Misch-Anforderungen und Temperaturbedingungen in den primären und sekundären Brennraum der Rostfeuerung führen. Hierbei ist die Umstellung der Primär- und Sekundärluftzufuhr erforderlich. Die nach der Verbrennung entstandenen Rückstände (Asche) haben unterschiedliche Formen. Während einige Brennstoffe (z.B. Teppichreste) eine feine pulvrige Asche bilden, agglomeriert die Asche bei der Verbrennung anderer Brennstoffe (z.B. Fadenreste). Außerdem sind Verschlackungen des Rostes in den Versuchen nicht aufgetreten. Abb. 26 zeigt die nach dem Versuch entstandene feine pulvrige und agglomerierte Asche. Um die Eigenschaft und Verwertungsmöglichkeiten der

Asche festzulegen, sollten ihre Zusammensetzung, ihr Schmelzverhalten und ihr Erweichungspunkt untersucht werden. Diese sind nicht Inhalt der Arbeit.



Abb. 26: Formen der bei der Verbrennung entstehenden Asche  
(links: Ausgangsmaterial, rechts: Asche; oben: Fadenreste;  
Mitte: Teppichreste; unten: Webstoffreste)

Die Auswahl eines thermischen Verfahrens für die Industrie-City ist von verschiedenen Faktoren abhängig (wie z.B. Abfallart, Zusammensetzung, Menge, Korngröße, Heizwert etc.). Die Anlage soll technisch und wirtschaftlich mit verschiedenen Abfallarten des Industriegebiets betrieben werden. In einem Folgeprojekt sind Langzeitanalysen in der Industrie-City durchzuführen, mit denen verlässliche Angaben zur Verfügbarkeit der insgesamt pro Jahr anfallenden Brennstoffe (Textilabfälle und EBS ) erhalten werden können, was den Anlagenwirkungsgrad und die Wirtschaftlichkeit beeinflussen kann. Falls der Aufbau einer Anlagentechnik zur Verbrennung im Industriegebiet einer Schwierigkeit gegenübersteht, sind die Textilabfälle in einer Industrieanlage (z.B. Zementindustrie in Aleppo) einzusetzen, um die thermische Verwertung der Textilabfälle zu gewährleisten.

## **7 Untersuchungen zur Behandlung relevanter Stoffströme aus der Lebensmittelindustrie**

### **7.1 Kompostierungsversuche**

#### **7.1.1 Grundlagen der Kompostierung**

Die Kompostierung ist ein biologisches Verfahren, bei dem die organischen Substanzen unter aeroben Bedingungen (Anwesenheit von Luftsauerstoff) abgebaut und in ein humusähnliches Produkt (Kompost) umgewandelt werden. Dieser Abbauprozess erfolgt durch verschiedene Mikroorganismen wie z.B. Bakterien und Pilze, die sich sehr schnell bei einem entsprechenden Angebot an Sauerstoff, Nährstoffen und ausreichender Feuchtigkeit vermehren (Wickeren & Buchholz, 1995). Je nach Temperaturbedingungen unterscheidet man folgende drei Gruppen von Mikroorganismen: Psychrophile (Bakterien, Schimmelpilze bei -4°C bis 30°C), Mesophile (Bakterien, Actinomyceten bei 10°C bis 45°C) und Thermophile (Bakterien, Actinomyceten, mesophile Sporen bei 45°C bis 65°C sowie einzelne thermophile Arten, die noch bei Temperaturen von 75°C auftreten) (Bilitewski et al., 2000).

Die in biologischen Verfahren einsetzbaren organischen Substanzen sind nativorganischen (natürlich entstanden) oder synthetisch- oder derivativorganischen (technisch be- oder verarbeiteten) Ursprungs. Die Grundbausteine der organischen Substanz sind Kohlenhydrate, Proteine, Lipide bzw. Lignin (Zachäus, 1995). Beim Abbauprozess werden Eiweiße, Kohlenhydrate und Fette hydrolysiert. Die Hydrolyseprodukte (Monosaccharide aus Kohlenhydraten, Peptide und Aminosäuren aus Eiweißstoffen und phenolische Bausteine aus aromatischen Zellwandbestandteilen) werden teilweise zu niedermolekularen organischen Säuren wie z.B. Essigsäure, Buttersäure, Valeriansäure, Propionsäure und Kohlendioxid, Letzteres unter Abgabe von Wärme, umgebaut. Ein Absinken des pH-Wertes ist die Folge. Bei ausreichender Sauerstoffversorgung werden die organischen Säuren (niedere Carbonsäuren) weiter rasch abgebaut. Dies führt zum Wiederansteigen des pH-Wertes in den neutralen Bereich. Durch



die Abbauvorgänge entsteht ein erheblicher Kohlenstoffverlust. Ein Teil des Kohlenstoffs wird in der Zellsubstanz der Mikroorganismen festgelegt und ein anderer Teil als Kohlendioxid freigesetzt. Als Endprodukte des Abbauprozesses entstehen Kohlenstoffdioxid, Wasser und in Abhängigkeit vom pH-Wert und Stickstoffgehalt Ammoniak bzw. Ammonium (Amlinger et al., 2005). Abb. 27 veranschaulicht die Entwicklung wesentlicher Prozessparameter beim Kompostierungsverlauf.

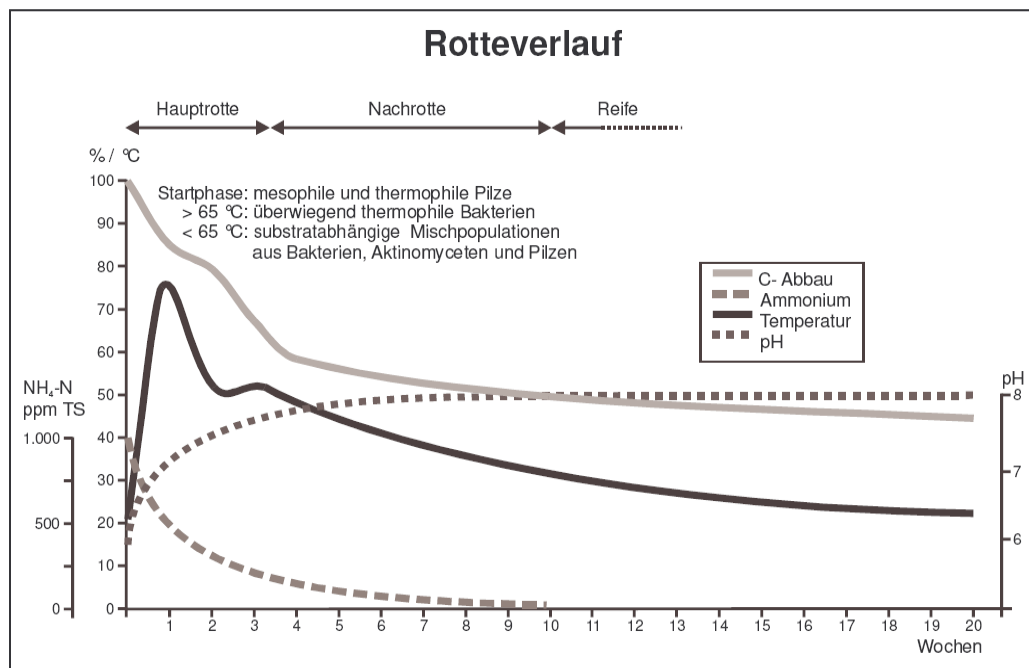


Abb. 27: Darstellung von Temperatur, Kohlenstoffabbau, Ammoniumfreisetzung und pH-Wert unter optimalen Bedingungen über eine Rottezeit von 20 Wochen (Lechner et al., 2005)

Durch den mikrobiellen Abbau der organischen Substanzen kommt es zur Erhöhung der Milieutemperatur. Dieser Vorgang wird als Selbsterhitzung bezeichnet. Diese Selbsterhitzung ist aus drei Gründen erwünscht: erstens kommt es zu einer Änderung der Zusammensetzung der Mikroorganismen und damit zu einem rascheren Abbau der oft vielfältig zusammengesetzten organischen Substanz; zweitens kommt es neben der Antibiotikabildung durch Actinomyzeten auch zu einer thermischen Entseuchung des Materials; drittens wird die Huminstoffbildung günstig beeinflusst (Lechner, Linzner, Mostbauer, Binner, &



Smidt, 2005). Um ein optimales Wachstum für Mikroorganismen und eine gewünschte maximale Abbauleistung gewährleisten zu können, sollen bei der Kompostierung bestimmte Anforderungen an Milieu und Ausgangsmaterial erfüllt bzw. verschiedene Parameter optimal eingestellt werden. Als wichtige Parameter werden nach Stadtmüller (2004) Temperatur, Wassergehalt, Nährstoffe, Sauerstoffangebot, pH-Wert, Schadstoffe und eine aktive Oberfläche betrachtet. Die Temperatur beeinflusst die Zusammensetzung des Mikroorganismenspektrums, die Hygienisierung, die Diffusionskoeffizienten des Sauerstoffs, die Löslichkeit des Sauerstoffs in der Flüssigphase, die Proteinzersetzung, den Ammoniakaustrag und die Nitrifikation (Kraft, 2001). Das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff (C/N-Verhältnis) stellt den wichtigsten Parameter bei den Nährstoffen dar. Es hat eine besondere Bedeutung für den Rotteverlauf. Die Rohstoffe für die Rotte sollten ein optimales C/N-Verhältnis von 35:1 aufweisen, da die Mikroorganismen für ihren Baustoff- und Betriebswechsel dieses Mischungsverhältnis bevorzugen (Bilitewski et al., 1991). Ist das C/N-Verhältnis im Ausgangsmaterial höher als 35:1, verzögert sich die Rottegeschwindigkeit. Darüber hinaus kommt es zur Freisetzung von Ammoniak, wenn der Kohlenstoffgehalt im Ausgangsmaterial niedriger als 35:1 ist (Emberger, 1993). Alle übrigen Elemente wie Phosphor, Kalium, Schwefel, Kalzium und Magnesium sowie Spurenelemente sind in organischer und anorganischer Bindung ausreichend vorhanden, um den mikrobiellen Stoffumsatz zu unterhalten (Grabbe 1996). Beim Kompostierungsprozess muss immer Wasser in ausreichender Menge vorhanden sein, da die Mikroorganismen die Nährstoffe nur aus wässriger Lösung aufnehmen können. Die Wassermenge muss optimal sein. Je nach Struktur des Ausgangsmaterials sollte der Wassergehalt 40 bis 55 % betragen (Emberger, 1993). Sinkt der Wassergehalt auf weniger als 25 %, sind die biologischen Abbauvorgänge der Rotte nicht mehr möglich. Hierbei werden die Bakterien, die die im Porenwasser gelösten Nährstoffe über ihre Zellmembran aufnehmen, nicht mehr ausreichend versorgt. Ebenfalls kommt der Rotteprozess bei einem Wassergehalt über 70 % zum Erliegen, da nur noch unzureichend Sauerstoff an die Mikroorganismen geführt wird (Christ, 1993). Außerdem verursacht ein Wassergehalt oberhalb des Optimums Luftverdrängung aus den Poren des Materials und führt dadurch zu

Sauerstoffmangel und anaeroben Verhältnissen. Aus diesem Grund stehen der Wassergehalt und das Luftporenvolumen im umgekehrten Verhältnis zueinander (Sattler & Emberger, 1992). Der Sauerstoffbedarf ist während des Rotteverlaufs nicht konstant. Er verändert sich in Abhängigkeit von der Rottephase. Der maximale Bedarf an Sauerstoff besteht in der Abbauphase (hier in der Hauptrotte), da die mikrobiellen Aktivitäten sehr hoch sind. Damit der Sauerstoff alle Mietenbereiche erreichen kann, sollte das Luftporenvolumen bei 25-35 % liegen (Stadtmüller, 2004). Ist das Luftporenvolumen gering, werden die Mikroorganismen nicht ausreichend mit Sauerstoff versorgt. Ebenso verhindert ein höheres Luftporenvolumen die ausreichende Versorgung der Mikroorganismen mit Wasser (Kraft, 2001). Im Verlauf der Rotte verändert sich auch der pH-Wert und beeinflusst die Aktivität der Mikroorganismen und damit die Rotteintensität. Bei der Abbauphase sinkt der pH-Wert in den sauren Bereich auf 5,5 bis 6 aufgrund der Bildung von Kohlenstoffdioxid  $\text{CO}_2$  und organischen Säuren und der Nitrifikation. Mit zunehmender Rottezeit steigt er aber auf über 8 aufgrund verstärkter mikrobieller Aktivität verbunden mit der Bildung von Ammoniak an. Der pH-Wert wirkt sich positiv auf die Rotteintensität im alkalischen Bereich bis maximal 11 aus. Sinkt er im Ausgangsmaterial auf unter 7, verlangsamen sich die mikrobiellen Aktivitäten. Außerdem ist bei einem pH-Wert unter 5 eine starke Hemmwirkung festzustellen (Kraft, 2001).

### **7.1.2 Kompostarten, -qualität und Anwendungen**

Ein kontaminierter Kompost wird nicht als marktfähiges Produkt angesehen und kann daher nicht vermarktet werden. Deswegen spielt die Kompostqualität bei der Kompostvermarktung und -verwertung eine große Rolle. Darüber hinaus beeinflusst die Qualität die Einsatzmöglichkeit des Kompostes. Als Möglichkeiten zur Kompostanwendung werden Düngung, Hilfsstoffe zur Bodenverbesserung und Mischkomponenten zur Herstellung von Kultursubstraten (Blumenerden) betrachtet (Kehres, 2000). Die wichtigste Vorgabe für den Einsatz von Komposten auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich oder gärtnerisch genutzten Böden ist die Bioabfallverordnung (BioAbfV). Sie regelt im Wesentlichen die Untersuchungs- und Nachweispflichten, Anwendungsmengen, zulässigen Schadstoffgehalte,

Anforderung an die Phyto- und Seuchenhygiene (Stöppler-Zimmer, Petersen, & Gottschall, 2000). Die Kompostqualität aus Abfallstoffen hängt wesentlich von der Art sowie Zusammensetzung des Ausgangsmaterials und von der Verfahrenstechnik der Kompostierung ab (Kehres & Vogtmann, 1990). Unterschiedliche Merkmale können die Kompostqualität kennzeichnen. Die relevanten Kriterien für die Beurteilung der Kompostqualität sind in Tab. 20 zusammengefasst. Eine Diskussion über diese Kriterien ist in Kehres, 2000 zu finden.

Tab. 20: Qualitätskriterien des Kompostes

<b>Physikalische Merkmale</b>	<b>Pflanzennährstoffe und organische Substanz</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Volumengewicht oder Rohdichte</li> <li>▪ Wassergehalt und Trockensubstanz</li> <li>▪ Körnung und Korngrößenzusammensetzung</li> <li>▪ pH-Wert</li> <li>▪ wasserlöslicher Salzgehalt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hauptnährstoffe</li> <li>▪ Spurennährstoffe</li> <li>▪ Organische Substanz</li> <li>▪ C/N-Verhältnis</li> </ul>
<b>Biologische Merkmale</b>	<b>Potentielle Schadstoffe und Fremdstoffe</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hygiene</li> <li>▪ keimfähige Samen</li> <li>▪ Rottegrad</li> <li>▪ Pflanzenverträglichkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schwermetalle</li> <li>▪ organische Schadstoffe</li> <li>▪ Fremdstoffe</li> </ul>

Der Kompost kann nach verschiedenen Merkmalen klassifiziert werden. Nach dem eingesetzten Ausgangsmaterial teilen sich die Kompostarten in Bio-/Grünkompost, Kompost aus landwirtschaftlichen Reststoffen, Mischmüllkompost und Klärschlammkompost. Darüber hinaus wird der Kompost nach Typ in Frisch- und Fertigkompost und nach Körnung in fein ( $0 < 12 \text{ mm}$ ), mittel ( $0 < 25 \text{ mm}$ ) und grob ( $0 < 40 \text{ mm}$ ) klassifiziert (Gottschall & Stöppler-Zimmer, 1993).

### 7.1.3 Versuchsdurchführung

In der Lebensmittelindustrie in Aleppo fallen unterschiedliche Arten von organischen Reststoffen an, die zurzeit aufgrund der fehlenden Behandlungsmöglichkeit deponiert werden. Im Rahmen dieser Arbeit werden zahlreiche Untersuchungen zur Kompostierung unterschiedlicher organischer Materialien durchgeführt. Die Ziele der Untersuchung teilen sich in die folgenden wesentlichen Punkte:

- Erzielung einer hohen Endproduktqualität durch die Kompostierung bestimmter organischer Materialien miteinander.
- Untersuchung des Schadstoffgehaltes (insbesondere Schwermetalle) und des Nährstoffgehaltes zur Beurteilung der Anwendungsmöglichkeiten des entstehenden Endprodukts.
- Erstellung von Rezepturen. Darunter versteht man, welche Art und Menge von organischen Stoffen miteinander kompostiert werden sollen, um einen optimalen Prozessverlauf sicherzustellen und eine hohe Kompostqualität erreichen zu können.

Tab. 21 präsentiert die Art und Menge der organischen Reststoffe, die als Input-Material für die Kompostierungsversuche eingesetzt werden.

Tab. 21: Untersuchte organische Reststoffe aus der Lebensmittelindustrie

Bezeichnung		Menge	Bemerkungen
Einheit		t/d	
Organische Fraktionen	Getreiderückstände	30	dessen Anteil beträgt ca. 2 bis 5 % des Inputs. Sie setzen sich aus Weizenhalmen, Spelzen, Linsenpflanzen, Stroh sowie kleinem Getreide etc. zusammen. Daneben sind auch mineralische Stoffe wie Staub, Boden und kleine Steine enthalten.
	Bioabfälle	4	Sie bestehen überwiegend aus Küchenabfällen, Speiseresten etc.
	Schlamm aus der Getreideverarbeitung	5	Entsteht durch die Behandlung des Kochwassers, das bei der Weizenproduktion genutzt wird.
	Schlamm aus Molkereien	3	Entsteht durch die Behandlung des Abwassers, das durch das Waschen und Reinigen der Behälter, Gegenstände, Maschinen etc. entsteht.

In der Industrie-City wurden vier Experimente zur Kompostierung der in Tab. 21 dargestellten organischen Stoffe vorgenommen. In jedem Versuch wurden zwei Arten in einem bestimmten Verhältnis gemischt. Abb. 28 zeigt die Stoffzusammensetzung und das Verhältnis beim Versuchsaufbau.

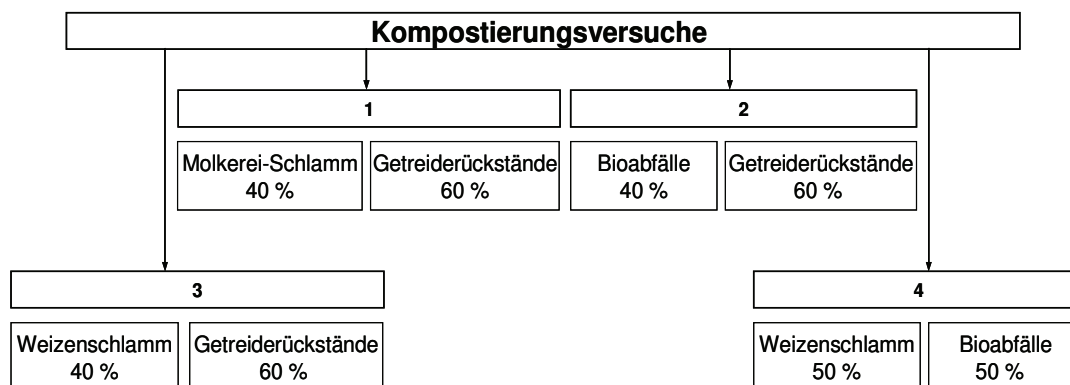


Abb. 28: Eingesetzte organische Stoffe in den Kompostierungsversuchen

Nach der Mischung und Homogenisierung wurden die organischen Stoffe ca. 12 Wochen mit dem einfachsten Verfahren (Mietenverfahren) kompostiert. Der Abbauprozess wurde über die Temperaturentwicklung im Rottegut kontrolliert. Jeden Tag wurde die Temperatur in drei unterschiedlichen Mietenstellen gemessen und daraus der Mittelwert gebildet. Die Mikroorganismen wurden während des Versuchs je nach Bedarf ständig mit Wasser versorgt. Die Versorgung der Mikroorganismen mit Sauerstoff wurde durch Umsetzung der Miete mit einfachster Technik (Frontlader) einmal täglich vorgenommen. Durch den Einsatz der Getreiderückstände insbesondere von Halmen, Pflanzen und Stroh wurden Luftporen in der Miete geschaffen. Um ein optimales Luftporenvolumen im Versuch 4 gewährleisten zu können, wurden als Strukturmaterial holzhaltige Stoffe wie Äste, die durch die Pflege der in der Industrie-City vorhandenen Bäume entstehen, eingesetzt. Die Versuche sind ca. drei Monate gelaufen. Nach Beendung der Rottezeit wurde eine Probe aus jedem Versuch entnommen. Da in Syrien keine Möglichkeit für die Analyse aller Parameter besteht, wurden die Proben nach Deutschland transportiert und dort die notwendigen Parameter zur Beurteilung der Kompostqualität analysiert.

#### 7.1.4 Versuchsauswertung und Schlussfolgerungen

Die Temperaturentwicklung im Laufe der Kompostierung ist von jedem Versuch in Abb. 29 dargestellt. Die Versuche wurden nicht gleichzeitig aufgebaut. Der Versuchsaufbau der Experimente 3 und 4 verspätete sich um 10 Tage (s. untere Kurven in Abb. 29). Der Temperaturverlauf zeigt deutlich, dass die Voraussetzung für die Hygienisierung während der Kompostierung realisiert wurde. Die Bedingung für eine Temperatur von mindestens 55 °C über einen möglichst zusammenhängenden Zeitraum von zwei Wochen wurde in allen Versuchen erfüllt. Die maximale Prozesstemperatur wurde nach ca. 5 bis 7 Tagen erreicht.

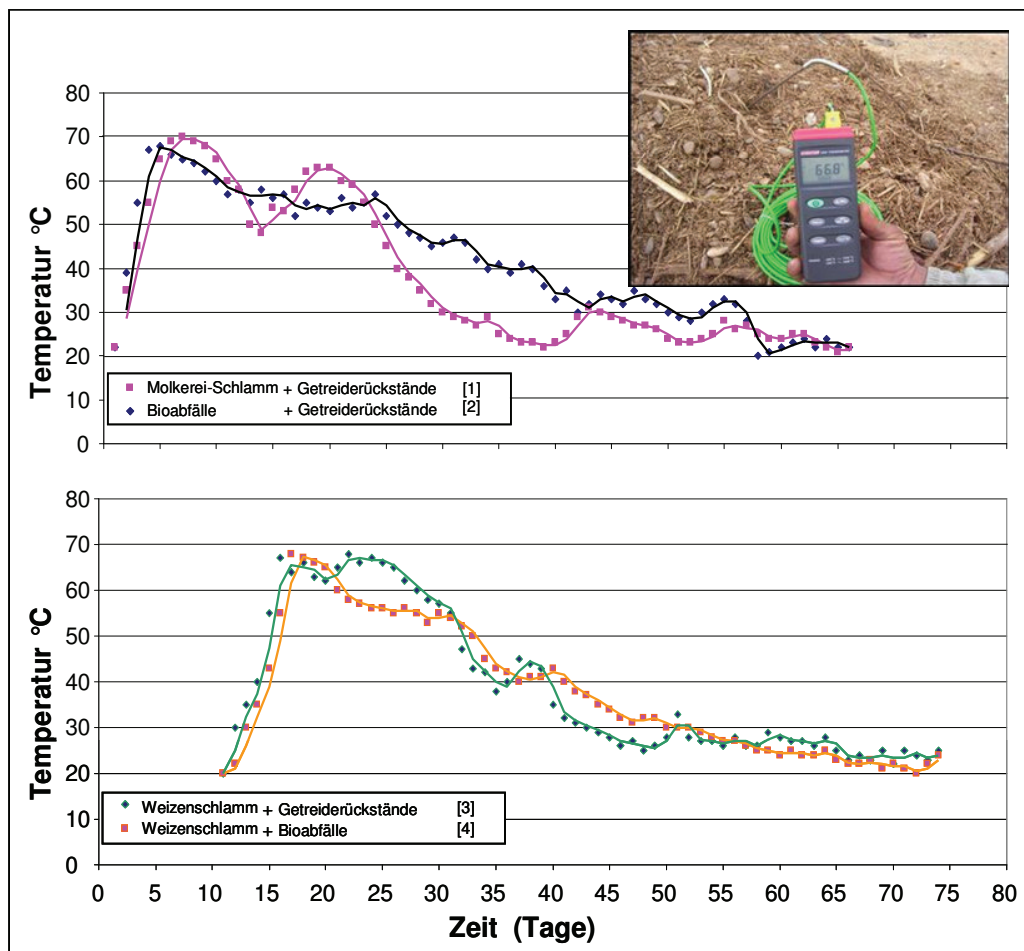


Abb. 29: Temperaturverlauf bei der Kompostierung

Die Kompostproben wurden bei LUFA-Rostock analysiert. Die Analyse liefert Erkenntnisse über die Schwermetall-Konzentration, Pflanzennährstoffe, Trockenmasse- und Salzgehalt, pH-Wert, Gehalt an organischer Substanz und Salmonellen. Die Analyseergebnisse sind in Tab. 22 zusammengefasst.

Tab. 22: Analyseergebnisse der Kompostproben

Parameter	Einheit	Versuch 1		Versuch 2		Versuch 3		Versuch 4		BioAbfV	
		Ergebnisse		Ergebnisse		Ergebnisse		Ergebnisse		A	B
		FM	TM	FM	TM	FM	TM	FM	TM	TM	TM
Wassergehalt	%	15,9		15,1		17,3		28,2			
Trockenmasse	%	84,1		84,9		82,7		71,8			
pH (CaCl <sub>2</sub> )	log (H)	7,5		7,2		7,3		7,3			
NH <sub>4</sub> -N (CaCl <sub>2</sub> -löslich)	mg/l	20		128		161		81			
Salzgehalt (als KCl)	g/l	3,87		6,51		4,48		7,73		< 2	
Org. Substanz als GV	%		9,47		16,06		22,76		23,23		
Rohdichte	g/l	1000		750		720		740			
Stickstoff ges. als N	%	0,55	0,65	0,99	1,17	1,42	1,72	1,08	1,5		
Phosphor, ges. als P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,29	0,35	0,37	0,44	0,39	0,47	0,5	0,7		
Kalium, ges. als K <sub>2</sub> O	%	0,38	0,45	0,58	0,68	0,42	0,51	0,65	0,9		
Magnesium, ges. als MgO	%	0,59	0,7	0,78	0,92	0,59	0,71	0,66	0,93		
Blei (Pb)	mg/kg		54,6		9,09		8,79		10,65	150	100
Cadmium (Cd)	mg/kg		0,63		0,67		0,59		0,66	1,5	1
Chrom (Cr)	mg/kg		31,34		43,74		27,9		42,9	100	70
Kupfer (Cu)	mg/kg		32,46		53,43		472,51		771,3	100	70
Nickel (Ni)	mg/kg		36,3		50		34,93		82,35	50	35
Quecksilber (Hg)	mg/kg		0,02		0,03		0,02		0,03	1	0,7
Zink (Zn)	mg/kg		126,39		98,08		124,75		211,97	400	300
Salmonellen (in 50g)			n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.		

[Versuch 1]: Molkerei-Schlamm + Getreiderückstände  
[Versuch 2]: Bioabfälle + Getreiderückstände  
[Versuch 3]: Weizenschlamm + Getreiderückstände  
[Versuch 4]: Weizenschlamm + Bioabfall

FM Frischmasse  
TM Trockenmasse  
n.n nicht nachweisbar

Die Qualität der Kompostproben wird durch verschiedene Parameter charakterisiert. Sie wird in erster Linie hinsichtlich des Schadstoffgehaltes beurteilt. Schwermetalle sind relevante Schadstoffe des Kompostes. Nach der BioAbfV werden als potentiell schädliche Schwermetalle die Elemente Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Nickel (Ni), Quecksilber (Hg) und Zink (Zn) reglementiert. In Abhängigkeit von der Schwermetallkonzentration sind zwei Klassen von Kompost (s. Tab. 22) zu unterscheiden. Innerhalb von drei Jahren

dürfen nicht mehr als 20 Tonnen Bioabfälle (TS) je Hektar bei Klasse A aufgebracht werden. Bei Klasse B kann die Aufbringmenge bis zu 30 Tonnen (TS) je Hektar innerhalb von drei Jahren betragen (BioAbfV, 1998). Die Schwermetallkonzentration untersuchter Kompostproben wurde mit den Anforderungen der Bioabfallverordnung verglichen (s. Tab. 22). Im Vergleich zu den Anforderungen an Klasse A und gleichzeitig an Klasse B zeigen die Ergebnisse, dass es eine Überschreitung in den zwei wesentlichen Elementen (im Kupfer- und Nickelgehalt) gibt.

Wird die Schwermetallkonzentration nur mit den Anforderungen der Kompostklasse A verglichen, erfüllen die Versuche 1 und 2 die Bedingungen sowie überschreitet der Kupfergehalt in den Versuchen 3 und 4 und der Nickelgehalt im Versuch 4 die Grenzwerte. Beim Vergleich des Inputmaterials z.B. im Versuch 2 und 3 wurde festgestellt, dass der Einsatz des Weizenschlamms bei der Kompostierung eine Erhöhung des Kupfergehalts verursachen kann. Möglicherweise liegt es daran, dass sich Kupfer durch das Kochen des Weizens in einem aus Kupfer hergestellten großen Kessel (ein Kessel hat eine Kapazität von 5.000 kg Weizen) lösen kann. Durch diesen Prozess wird das Kochwasser mit Kupfer belastet, das anschließend nach der Abwasserbehandlung im Schlamm bleiben kann. Es wurden keine Salmonellen in den Proben nachgewiesen. Dies deutet darauf hin, dass die Maßnahmen zur Hygienisierung im Laufe der Kompostierung erfolgreich waren.

Düngemitteltypen für Sekundärrohstoffdünger wie z.B. Kompost sind in der Düngemittelverordnung festgeschrieben (mindestens 0,5 % N, 0,3 %  $P_2O_5$ , 0,5 %  $K_2O$ , insgesamt mindestens 2 % in der Trockenmasse, unterhalb dieser Werte spricht man von Bodenhilfsstoffen) (Stöppler-Zimmer et al., 2000). Anhand dieser Regel gelten die Komposte aus den Versuchen 2, 3 und 4 als Sekundärrohstoffdünger. Die Summe der Komponenten N,  $P_2O_5$  und  $K_2O$  im Kompost aus dem Versuch 1 hat den Wert von insgesamt 2 % in der Trockenmasse nicht erreicht. Deswegen empfiehlt es sich in diesem Fall, die Zusammensetzung des Ausgangsmaterials im Versuch 1 zu ändern wie z.B. Mischung von Bioabfällen mit



Molkereischlamm und Getreiderückständen. Aus den oben dargestellten Ergebnissen leiten sich folgende Schlussfolgerungen ab:

- Aus den organischen Stoffen der Lebensmittelindustrie kann eine hohe Kompostqualität durch das Einsetzen bestimmter organischer Stoffe im Inputmaterial erreicht werden.
- Die beste Kompostqualität wird durch die Mischung von Bioabfällen und Getreiderückständen erreicht.
- Es empfiehlt sich, die Struktur des Inputmaterials im Versuch 1 zu verbessern, da das entstehende Endprodukt nicht als Sekundärrohstoffdünger gilt.
- Die Untersuchung der elementaren Zusammensetzung des Ausgangsmaterials (insbesondere Weizenschlamm) der Versuche 3 und 4 ist erforderlich, um den hohen Kupfer- und Nickelgehalt im Inputmaterial zu vermeiden.
- Das Mietenkompostierungsverfahren eignet sich sehr gut für die Industrie-City, da die Investitionskosten im Vergleich zu anderen Verfahren gering sind und die erforderliche Betriebsfläche im Industriegebiet vorhanden ist.
- Die Kompostierung organischer Stoffe gewährleistet, dass ca. 90 % der anfallenden Abfälle aus dem Lebensmittelbereich verwertet und nicht mehr deponiert werden. Dadurch können zum einen die nachhaltigen negativen Auswirkungen auf die Umwelt reduziert und zum anderen die entsprechenden Ablagerungskosten eingespart werden.

## 7.2 Vergärungsversuche

### 7.2.1 Grundlagen der Biogasgewinnung

Das Biogas ist ein Gasgemisch, das durch den Abbau der organischen Substanz unter anaeroben Bedingungen (ohne Sauerstoff) entsteht (Schattauer & Weiland, 2004). Nach heutigen Kenntnissen erfolgt der anaerobe Abbauprozess der organischen Substanzen zu Biogas in vier wesentlichen Phasen, an denen verschiedene Gruppen von Mikroorganismen beteiligt sind (Wellinger, 1991). Diese Abbauphasen lassen sich nach Abb. 30 in Hydrolyse, Versäuerung (Acidogenese), Essigsäurebildung (Acetogenese) und Methanogenese unterteilen.

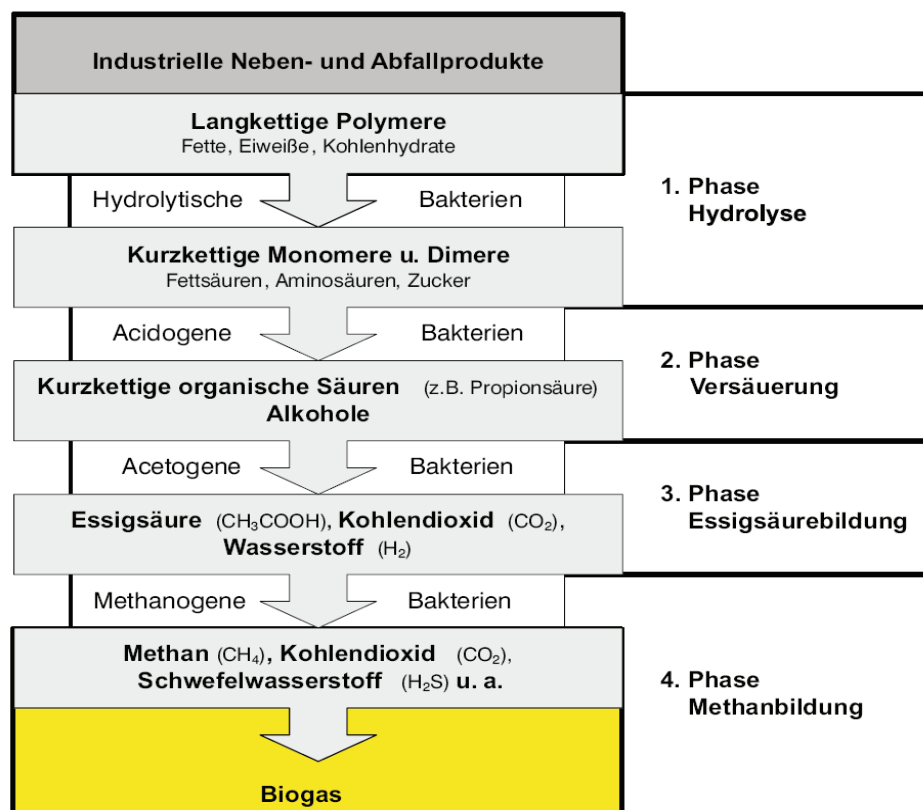


Abb. 30: Schematische Darstellung der Biogasproduktion  
(Institut für Energetik und Umwelt, 2004)

Bei der Hydrolyse werden die komplexen Verbindungen (Polymere) des Ausgangsmaterials wie z.B. Eiweiß, Fett, Zellulose und Kohlenhydrate durch fakultativ anaerobe Bakterien und mit Hilfe von Enzymen in einfachere organische Verbindungen (Monomere) z.B. Aminosäuren, Fettsäuren, Einfachzucker und Wasser zerlegt (Schulz, Eder, & Krieg, 2001). Diese gebildeten Zwischenprodukte stellen die Inputstoffe für den nächsten Schritt dar. Sie werden in der Versäuerungsphase (Acidogenese) durch säurebildende Bakterien weiter zu niederen Fettsäuren (Essig-, Propion- und Buttersäuren) sowie in Kohlendioxid und Wasserstoff abgebaut. Daneben werden aber auch geringe Mengen an Milchsäure und Alkohole gebildet (Schattauer & Weiland, 2004). Die prozentuale Zusammensetzung dieser Zwischenprodukte wird durch den Wasserstoffpartialdruck beeinflusst. Bei niedrigen Wasserstoffkonzentrationen wird bereits jetzt viel Essigsäure gebildet, während ein höherer Partialdruck die Bildung von Propion-, Butter- und Milchsäure sowie Äthanol bewirkt (Edelmann & Engeli, 1996). Die Reduzierung des Wasserstoffpartialdrucks erfolgt durch bestimmte methanogene Bakterien, die Wasserstoff aufnehmen können und mit  $\text{CO}_2$  zu  $\text{CH}_4$  umwandeln (Dellweg, 1987). Die Bakterien der Hydrolyse- und Versäuerungsphase sind fakultative Anaerobier. Sie wachsen vergleichsweise schnell und sind in der Lage, die Schwankungen der Milieubedingungen ohne Aktivitätsverlust auszuhalten. Sie arbeiten aktiv in einem breiten pH-Bereich von etwa 3 bis 7 (Neumann & Schwarting, 1994).

In der Acetogenese (Schritt 3) werden die in der Versäuerungsphase entstandenen Produkte anschließend durch obligat Protonen reduzierende Bakterien zu Essigsäure, Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid umgesetzt, die durch methanbildende Bakterien weiter verwertet werden (Wellinger, 1991). Die Methanogenese als letzter Prozessschritt erfolgt über zwei Hauptreaktionen. Der große Anteil des Biogases mit rund 70 % bildet sich durch die Spaltung von Essigsäure in  $\text{CO}_2$  und  $\text{CH}_4$ . Die Restmenge des Biogases (rund 30 %) wird durch die Verbindung von Wasserstoff und  $\text{CO}_2$  zu  $\text{CH}_4$  und Wasser gebildet (Edelmann & Engeli, 1996). Die acetogenen und methanogenen Bakterien sind obligate Anaerobier. Sie sind empfindlich gegen Sauerstoff, gegen Temperatur-

schwankungen und gegen einen niedrigen pH-Wert. Sie wachsen außerdem langsam im Vergleich zu fakultativen Anaerobiern (Neumann & Schwarting, 1994). Neben dem Kohlendioxid und Methan begleitet das Biogas andere gasförmige Komponenten, die in einer kleinen Menge vorhanden sind. Aus den schwefelhaltigen Verbindungen wie bestimmten Aminosäuren entsteht Schwefelwasserstoff, der durch die Reduktion des Schwefels und mit Hilfe von sulfatreduzierenden Bakterien gebildet wird. Durch die Reduktion der N-haltigen Verbindungen und Aminogruppen kommt es ebenfalls zur Bildung von Ammonium oder Ammoniak (Gosch, 1993).

Der anaerobe Prozessverlauf ist abhängig von der Aufrechterhaltung der Lebensbedingungen für die Mikroorganismen und der Prozessführung (Weiland, 2001). Aus diesem Grund sollen bestimmte Anforderungen an das Milieu erfüllt werden, um ein optimales Wachstum sowie eine aktive Leistung für Mikroorganismen gewährleisten zu können. Günstige Milieuanforderungen der Mikroorganismen sind ein feuchtes Milieu, Luft- und Lichtabschluss, eine gleichmäßige und angepasste Temperatur, ein optimaler pH-Wert, eine ausreichende Nährstoffversorgung, große Stoffoberflächen, eine gleichmäßige Substratzufuhr, eine optimale Faulraumbelastung und die Vermeidung von Hemmstoffen (Schulz & Klingler, 1996).

### **7.2.2 Biogaszusammensetzung und -verwertung**

Die wesentlichen Outputströme des anaeroben Abbauprozesses (Vergärung) sind Gärrückstand und Biogas, das energetisch genutzt werden kann. Beide Produktströme müssen aufbereitet werden (Oetjen-Dehne & Tidden 1993). Das beim anaeroben Abbauprozess gebildete Biogas besteht im Durchschnitt aus dem energiereichen Methan  $\text{CH}_4$  ( 50-75 %) und aus Kohlendioxid  $\text{CO}_2$  (25-45 %) sowie geringen Anteilen Wasserdampf  $\text{H}_2\text{O}$  (2-7 % bei 20 °C - 40 °C), Schwefelwasserstoff  $\text{H}_2\text{S}$  (20-20000 ppm), Stickstoff  $\text{N}_2$  (< 2 %) , Sauerstoff  $\text{O}_2$  (< 2 %) und Wasserstoff  $\text{H}_2$  (< 1 %) (Edelmann, 2001). Diese Anteile hängen grundsätzlich vom Ausgangssubstrat und von der Prozessführung wie der Temperatur, der Verweilzeit und der Raumbelastung ab (Cerajewski, 1995).

Das Verhältnis von Kohlendioxid zu Methan im Biogas kann während der Vergärung schwanken. Es wird von der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials [Fette liefern pro Masse mehr Methananteile als Kohlenhydrate und Eiweiß], dem Wassergehalt des Gärgutes [je dünnflüssiger der Fermenterinhalt ist, desto mehr CO<sub>2</sub> wird im Wasser gelöst], der Gärtemperatur [je höher die Gärtemperatur ist, desto weniger CO<sub>2</sub> wird im Wasser gelöst] und dem Druck im Fermenter [steigt der Druck im Fermenter an, löst sich im Wasser mehr CO<sub>2</sub>] beeinflusst (Edelmann, 1996). Zur Nutzung des Biogases existieren derzeit verschiedene Wege und Optionen. Je nach entsprechender Aufbereitung kann das Biogas zur Wärme- und Stromerzeugung und als Treibstoff genutzt werden. Die Nutzungsmöglichkeiten des Biogases sind nach Weiland 2000 in Abb. 31 dargestellt.

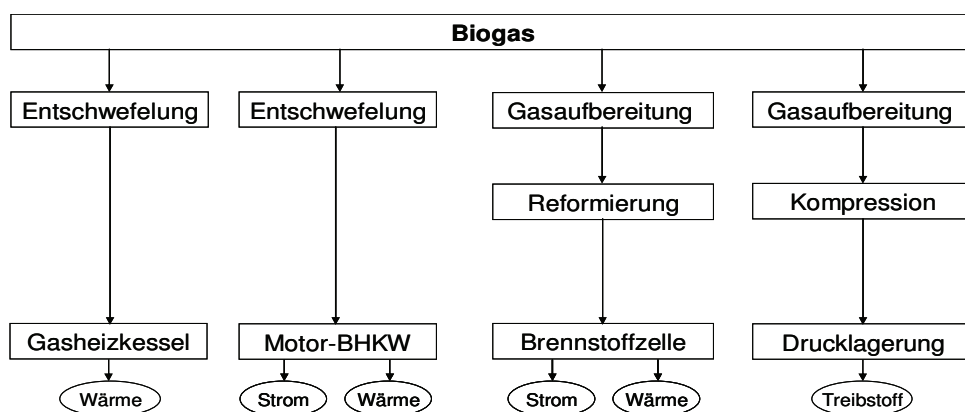


Abb. 31: Möglichkeiten der Biogasverwertung (Weiland, 2000)

Abb. 31 zeigt, dass die Anforderung an die Gasqualität von dem Nutzungsweg abhängig ist. Wird das Biogas in Blockheizkraftwerken und Heizkesseln zur Erzeugung von Wärme und Strom verwertet, ist es notwendig, das Biogas zu entschwefeln und die Schwefelwasserstoffkonzentration unter 200 ppm zu bewahren. Bei der Verwertung des Biogases in Brennstoffzellen sowie bei der Nutzung als Treibstoff muss der Schwefelwasserstoff vollständig eliminiert und es

müssen weitgehend alle Spurenstoffe entfernt werden. Außerdem soll das Biogas durch die Abtrennung von CO<sub>2</sub> mit Methan angereichert werden (Bilitewski, 2004).

### 7.2.3 Durchführung der Batchversuche

Aufgrund des Energiebedarfs in Syrien wurde die Energiegewinnung aus den drei unterschiedlichen Arten von Rückständen, die aus der Getreidemühlenvorbereitung und -produktion in der Industrie-City anfallen, untersucht. Diese sind Weizenhalme, Weizenspelze und Feinfraktion, die sich hauptsächlich aus einem sehr feinen Gemisch von Weizen- und Linsenpflanzen, kleinen Getreide und teilweise aus mineralischen Stoffen wie Boden und Staub zusammensetzt (s. Abb. 32).



Abb. 32: Untersuchte Getreiderückstände

Das Hauptziel der Untersuchung war die Bestimmung des aus diesen Getreiderückständen gewonnenen Biogasertrages durch Vergärung in der Batch-Versuchsanlage, die aus Batchfermenter, Folienbeutel, Magnetrührer, Gasmessstation und Klimakammer besteht. Die Vorteile dieser Versuchsanlage bestehen darin, dass eine große Probenmenge (von 500 bis 2.000 g Frischmasse) im Vergleich zu anderen Testmethoden eingesetzt werden kann und eine Probenaufbereitung nicht notwendig ist. d.h. die Probe kann so analysiert werden, wie sie in der Praxis eingesetzt wird (Fritz, Banemann, Engler, Nelles, & Fricke, 2007). Neben dem Versuchsaufbau sind in Abb. 33 Fotos der Gasmessstation und der Innenansicht der Klimakammer dargestellt.

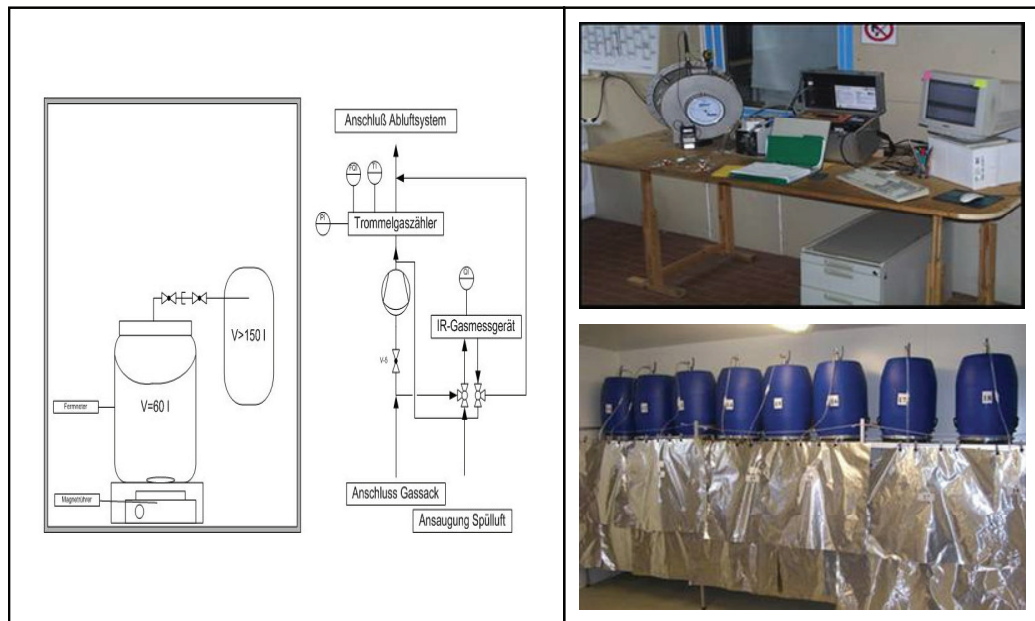


Abb. 33: Aufbau der Batch-Versuchsanlage (links); Gasmessstation (oben rechts); Innenansicht der Klimakammer (unten rechts)

Die Versuchsdurchführung lässt sich kurz beschreiben: Bevor der Vergärungsversuch beginnt, wird eine Laboranalyse vorgenommen. Dabei werden die Gehalte an Trockensubstanz TS nach der DIN EN 12880 und die organische Trockensubstanz oTs nach der DIN 18128 bestimmt. Zur Bestimmung der Trockensubstanz wird die Probe bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Darüber hinaus wird die organische Trockensubstanz (oTs) durch Veraschung bei 550-600 °C als Glühverlust ermittelt. Neben der Probe werden auch TS- und oTs-Gehalt des Impfschlammes untersucht, um sicherzustellen, dass die in den VDI-4630-Richtlinien festgelegten Kriterien bezüglich der Impfschlamm-eigenschaft erfüllt werden. Nach der Laboranalyse wird der Batchfermenter vorbereitet sowie die Randbedingungen eingestellt. Darunter wird die Befüllung und Ausspülung des Batchfermenters verstanden. Dem Fermenter, der ein Volumen von 60 l aufweist, wird eine bestimmte Menge von Wasser, Impfschlamm und Substrat zugegeben. Die Probenmenge sowie die Menge und Eigenschaft des Impfschlammes sind in den VDI-4630-Richtlinien festgelegt. Als Impfschlamm soll bevorzugt unbehandelter Faulschlamm aus einer kommunalen Kläranlage eingesetzt



werden. Als Kriterium für den Einsatz eines geeigneten Impfschlammes wird das Verhältnis organischer Trockensubstanzgehalt (oTs) zu Trockensubstanzgehalt (TS) angesehen. Der Impfschlamm soll einen organischen Trockensubstanzgehalt (oTs) von über 50 % des TS aufweisen. Darüber hinaus muss der Impfschlamm vor dem Einsatz im Gärrest bei einer Testtemperatur eine Woche lang gelagert werden, um seine Eigengasproduktion durch eine Hungerphase zu minimieren. Das eingesetzte Substrat soll im Verhältnis zum Impfschlamm keinen zu großen Anteil haben. Das Verhältnis oTs-Substrat zu oTs-Schlamm von 0,5 sollte nicht überschritten werden. Des Weiteren sollte der TS-Gehalt im Ansatz nicht mehr als 10 % betragen (VDI-4630).

Nach dem Beenden der Fermenterbefüllung wird der Deckel des Fermenters wieder dicht verschlossen. Zur Schaffung einer sauerstoffarmen Atmosphäre wird der Fermenter mit Inertgas (hier Stickstoff) gespült. Parallel zur Spülung wird die Sauerstoffkonzentration des Abgases im Austritt des Fermenters gemessen. Sinkt die Sauerstoffkonzentration auf 0 %-Vol ab, wird die Spülung abgebrochen und der Fermenter in die Klimakammer eingebracht, die mit entsprechender Sicherheitstechnik wie z.B. Explosionsschutz, Belüftungstechnik und Methanüberwachung ausgestattet ist. Das Substrat wurde unter mesophilen Temperaturbedingungen bei 37 °C (+/- 2 °C), die durch die Klimakammer realisiert und erfüllt wurden, vergoren. Der Vergärungsversuch dauert bis zum Erreichen des Abbruchkriteriums gemäß der VDI-Richtlinie 4630. Als Abbruchkriterium gilt, dass die tägliche Biogasrate nur noch 1 % des bis zu diesem Zeitpunkt anfallenden Biogasgesamtvolumens beträgt. Neben dem zu untersuchenden Substrat werden in einem Ansatz eine Referenzprobe (hier mikrokristalline Zellulose) und eine Nullprobe mitvergoren. Die Referenzprobe dient der Sicherstellung, dass die biologische Aktivität des Impfschlammes in Ordnung ist. Bei einem 100 %igen Umsatz entsteht aus mikrokristalliner Zellulose eine Gasmenge von 740 bis 750 ml n/g oTs. Wird im Kontrollansatz dieser Wert zu 80 % erreicht, kann davon ausgegangen werden, dass die biologische Masse eine gute Leistungsfähigkeit aufweist (VDI-4630). Darüber hinaus wird durch den Einsatz der Referenzprobe auch die im Gärmedium gelöste Kohlendioxidmenge ermittelt. Die Gas-



zusammensetzung der Zellulose ist schon bekannt. Sie besteht aus 50 %  $\text{CO}_2$  und 50 %  $\text{CH}_4$ . Unter Nullprobe wird die Vergärung des Impfschlammes ohne Mischung mit dem Substrat verstanden. Dieser Nullprobentest liefert Erkenntnisse über die Biogasmenge, die aus dem Impfschlamm während des gesamten Versuchs entstanden ist, was zur Berechnung der aus dem Substrat gewonnenen Netto-Erträge (Biogas und  $\text{CH}_4$ ) helfen kann. Der Batchfermenter wird im Laufe des Vergärungsversuchs mittels Magnetrührer einmal täglich für ca. 3 Minuten durchmischt. Die durch biologische Abbauprozesse entstehenden Gase werden in einem Folienbeutel aufgefangen und periodisch über eine Gasmessstation entleert. Dabei werden die Gasmenge mit Hilfe eines Trommelgaszählers und die Gaszusammensetzung (Gehalt an  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) mittels Infrarotspektroskopie und elektrochemischer Analyse erfasst. Der Gärverlauf wird durch die Analyse des pH-Wertes zu Beginn und nach Ende des Versuches überwacht oder kontrolliert.

#### **7.2.4 Auswertung der Versuchsergebnisse**

Die Laboranalyse zeigt, dass die feinen Fraktionen einen großen Aschenanteil haben (s. Abb. 34). Ein Grund dafür ist der hohe Gehalt an mineralischen Stoffen und Staub, die durch Getreidesieben und das Luftabsaugen im Betriebsraum bei den Getreidemöhlen und der Getreidereinigung entstehen. Dies führt zu der Verringerung der organischen Trockensubstanz und auch des Energiegehalts.

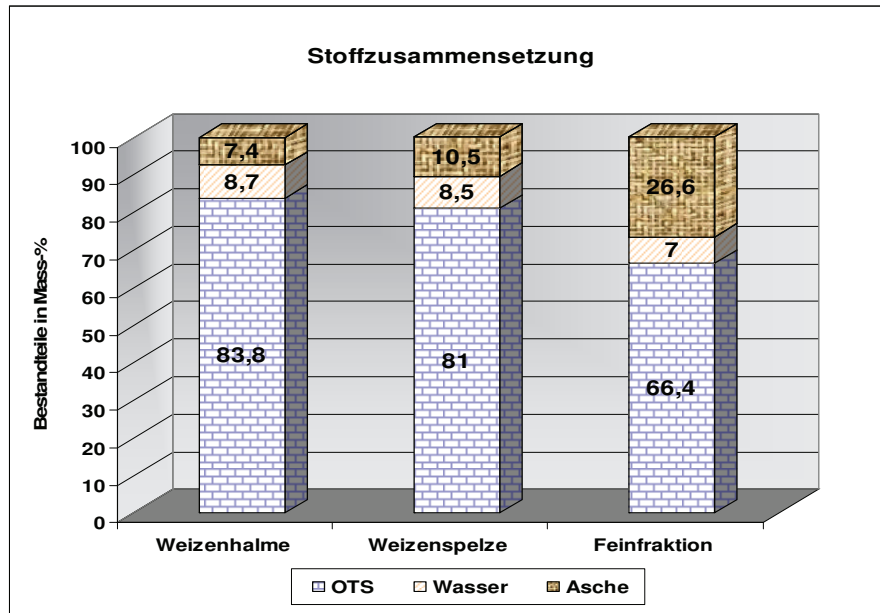


Abb. 34: Zusammensetzung der untersuchten Getreiderückstände

Als erster Schritt bei der Ermittlung des Biogasertrags wird das durch Trommelgaszähler erfasste Betriebsvolumen des Biogases, das sich in den einzelnen Zeitabschnitten entwickelt hat, in Normvolumen (Normbedingungen:  $T_n = 273,13$  K und  $p_n = 1.013,25$  hPa) umgerechnet. Es ist hier unbedingt notwendig, das trockene Gasvolumen zu ermitteln, da der im Biogas existierende Wasserdampfgehalt einerseits das Biogasvolumen und andererseits den Methangehalt beeinflusst (Fritz et al., 2007). Dazu dient die Gleichung (51).

$$V_{n,Bg_{ges},tr} = V_{Bg_{ges},f} \frac{(p_{gem} - p_w) \cdot T_n}{p_n \cdot T_{gem}} \quad (51)$$

Annahme: Biogas wird 100 % Wasserdampf bei entsprechender Temperatur gesättigt. Der Sättigungsdruck  $P_w$  in Abhängigkeit von der Temperatur berechnet sich in [Pa] für Temperaturbereich 0 bis 100 °C nach folgender Näherung (Steinbrecht, 2007[a]).

$$P_w = 611 \cdot \exp(7,257 \cdot 10^{-2} \cdot T - 2,937 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 + 9,810 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 - 1,901 \cdot 10^{-9} \cdot T^4) \quad (52)$$

Da der Methangehalt im feuchten anstatt im trockenen Gas gemessen wird, wird der Methangehalt des trockenen Gases gemäß VDI-Richtlinie 4630 nach folgender Gleichung berechnet.

$$\Psi_{\text{CH}_4, \text{Bg}_{\text{ges}}, \text{tr}} = \Psi_{\text{CH}_4, \text{Bg}_{\text{ges}}, \text{f}} \cdot \frac{p_{\text{gem}}}{p_{\text{gem}} - p_{\text{w}}} \quad (53)$$

Das trockene Methanvolumen wird durch Multiplikation der Methankonzentration mit dem Volumen des Biogases ermittelt.

$$V_{\text{n,CH}_4, \text{ges}, \text{tr}} = V_{\text{n,Bg}_{\text{ges}}, \text{tr}} \cdot \Psi_{\text{CH}_4, \text{Bg}_{\text{ges}}, \text{tr}} \quad (54)$$

Die Biogas- und Methanerträge über den gesamten Versuch werden durch Summieren der in den einzelnen Zeitabschnitten erfassten Erträge berechnet.

$$V_{\text{n,Bg}_{\text{tot}}, \text{tr}} = \sum_{n=1}^n V_{\text{n,Bg}_{\text{ges}}, \text{tr}} \quad (55)$$

$$V_{\text{n,CH}_4, \text{tot}, \text{tr}} = \sum_{n=1}^n V_{\text{n,CH}_4, \text{ges}, \text{tr}} \quad (56)$$

Die Batchfermenter weisen einen großen Kopfraum auf. Dieser Kopfraum hat aufgrund der Ausspülung mit einem Inertgas und der Konzentrationsunterschiede von Methan im Biogas während der Vergärung einen Einfluss auf die Ergebnisse der Methanausbeute (Fritz et al., 2007). Es ist daher notwendig die Kopfraumkorrektur durchzuführen. Die korrigierte Methanausbeute ergibt sich aus Gleichung (57)

$$V_{\text{n,CH}_4, \text{tot}, \text{tr}, \text{korr}} = V_{\text{n,CH}_4, \text{tot}, \text{tr}} + V_{\text{n,kopf}} \cdot \Psi_{\text{CH}_4, \text{kopf}, \text{tr}} \quad (57)$$

Die Ermittlung des Normvolumens des Kopfraums leitet sich aus Gleichung (58) ab. Hierbei wird angenommen, dass das Wasser und der Impfschlamm die gleiche Dichte ( $1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) aufweisen. Darüber hinaus wird die letzte gemessene Methankonzentration als Konzentration des Methans im Kopfraum  $\Psi_{\text{CH}_4, \text{Kopf}, \text{tr}}$  betrachtet.

$$V_{\text{n,kopf}} = \frac{(V_{\text{fr}} - V_{\text{w}} - V_{\text{IS}}) \cdot T_{\text{n}} \cdot p_{\text{kr}}}{p_{\text{n}} \cdot T_{\text{kr}}} \Leftrightarrow \text{Annahme } p_{\text{n}} = p_{\text{kr}} \quad (58)$$

Im Lauf der Vergärung und Biogasentwicklung kommt es zur Auflösung einiger Biogasbestandteil insbesondere Kohlenstoffdioxid im Vergärungsmedium. Dies beeinflusst den aus dem Substrat gewonnenen Biogasertrag. Deswegen wird die Menge des gelösten Kohlenstoffdioxids durch den Ansatz der Referenzprobe berechnet und anschließend wird sie zu allen Fermenten addiert. Hierbei wird angenommen, dass in allen Fermenter das Kohlendioxid  $\text{CO}_2$  in gleicher Menge gelöst wird. Das Biogas aus dem Referenzsubstrat (Zellulose) setzt sich aus  $\text{CO}_2$  und  $\text{CH}_4$  zusammen:

$$V_{n,\text{BgRS},\text{prakt.}} = V_{n,\text{CH}_4,\text{gem}} + V_{n,\text{CO}_2,\text{gem}} \quad (59)$$

Die entstehende Methanmenge bei der Vergärung von Zellulose soll theoretisch die Kohlendioxidmenge ergeben. Dadurch soll das praktische entwickelte Biogas aus dem Referenzproben wie folgt ermittelt

$$V_{n,\text{BgRS},\text{prakt.}} = 2 \cdot V_{n,\text{CH}_4,\text{gem}} \quad (60)$$

Tatsächlich wird aufgrund des Lösens des Kohlendioxids weniger Biogas gemessen. Die Differenz zwischen praktischer und gemessener Menge stellt die gelöste Menge dar.

$$V_{n,\text{CO}_2,\text{gelöst.}} = V_{n,\text{BgRS},\text{prakt.}} - V_{n,\text{BgRS},\text{gem.}} \quad (61)$$

Außerdem liefert der Ansatz der Nullprobe Erkenntnisse über den Biogas- sowie Methanertrag, der aus Impfschlamm über den gesamten Versuchszeitraum entwickelt wird. Zur Ermittlung des Netto-Gas-Normvolumens des Substrats bzw. des Referenzsubstrats im Versuch wird das Normvolumen des trockenen Gases aus Impfschlamm aus das Normvolumen des im gesamten Versuch entstandenen trockenen Gases abgezogen wird (Gleichung (62))

$$V_{n,\text{BgSb},\text{tr}} = V_{n,\text{Bg}_{\text{tot}},\text{tr}} - V_{n,\text{Bg}_{\text{IS}},\text{tr}} \quad (62)$$

Ebenso wird der Netto-Methanertrag

$$V_{n,\text{CH}_4\text{Sb},\text{tr}} = V_{n,\text{CH}_4\text{tot},\text{tr}} - V_{n,\text{CH}_4\text{IS},\text{tr}} \quad (63)$$

Zum Schluss berechnen sich der spezifische Biogas- und Methanertrag aus folgender Gleichung:

$$V_{n,(Bg_{Sb} \text{ oder } CH4_{Sb}),tr}^* = \frac{V_{n,(Bg_{Sb} \text{ oder } CH4_{Sb}),tr}}{m_{Sb,mix} \cdot \xi_{oTs,Sb}} \quad (64)$$

Die Abb. 35 veranschaulicht die Biogas- und Methanerträge, die aus den untersuchten organischen Stoffen entstanden sind.

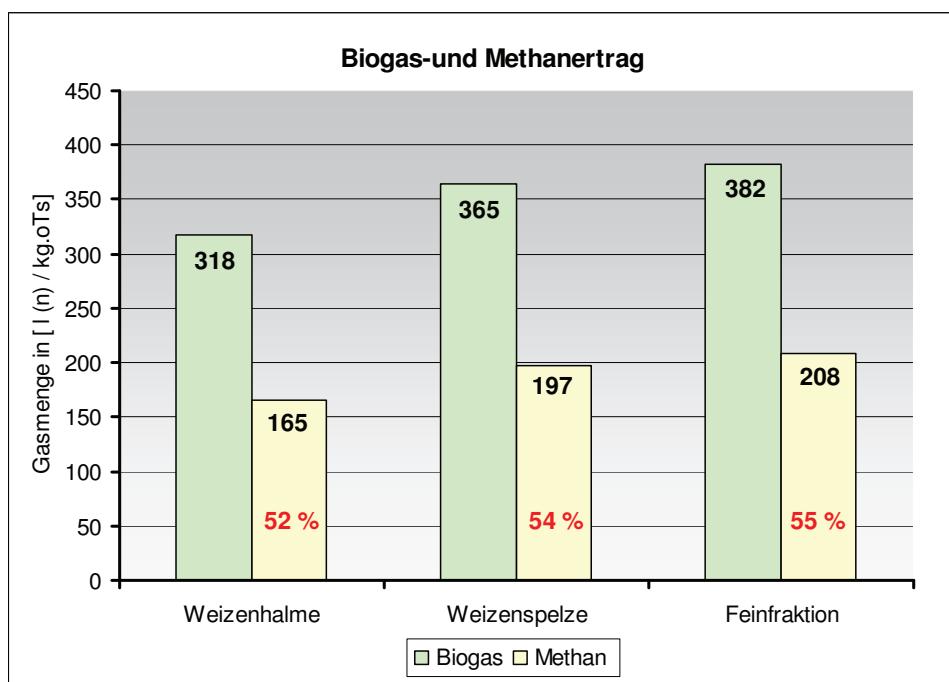


Abb. 35: Biogas- und Methanertrag

Die Untersuchungsergebnisse lassen sich für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage in Syrien einsetzen. Im nächsten Abschnitt werden die Wirtschaftlichkeitsberechnungen für verschiedene Biogasanlagengrößen durchgeführt, um einen Überblick über die Realisierungsmöglichkeit einer Biogasanlage im Industriegebiet Aleppo zu liefern.

## **8 Ökologische und ökonomische Konzeption zum umweltgerechten Umgang mit den Abfällen der Industrie-City in Aleppo**

### **8.1 Grundlage des Konzeptes**

Der Mangel an den Gesetzen bzw. Verordnungen und die Schwachstellen in der Organisation der Abfallentsorgung sind grundsätzlich verantwortlich für die aufgetauchten Probleme im Bereich der Abfallwirtschaft. Aus diesem Grund werden diese beiden Faktoren neben der Finanzierung als Grundlage zur Erstellung eines Abfallwirtschaftskonzeptes angesehen. In der Industrie-City benötigen die vorhandenen Gesetze und rechtlichen Rahmenbedingungen für die Umwelt und die Abfallwirtschaft eine Vielzahl von Optimierungs- und Entwicklungsschritten, um die Probleme sowie die Umweltbelastungen vermindern zu können. Ferner ergibt sich für Syrien in diesem Bereich ein großer Bedarf an Konzepten, Leitlinien und Rechtsgrundlagen, die den lokalen Gegebenheiten angepasst und vollständig von ausländischen Regelungen unabhängig sind. Gemäß des Sauberkeitsgesetzes (Nummer 49) ist die Industrieverwaltung dafür zuständig, die in ihrem Gebiet anfallenden Abfälle zu entsorgen. Das bedeutet, die Industrie-City übernimmt die Sammlung, den Transport und die Behandlung von Abfällen. Somit liegt die Verantwortung zur Beseitigung der Abfälle nicht direkt bei den Unternehmen. Deren Pflichten belaufen sich diesbezüglich ausschließlich auf die Zahlung des Sauberkeitssteuergeldes und der Abgabe ihrer Abfälle an die Industrieverwaltung. Die Abdeckung der Entsorgungskosten durch das Sauberkeitssteuergeld reicht in der Regel nicht für alle Entsorgungsvorgänge aus. Darüber hinaus gibt es in der Industrie-City keine Pflicht, die Industrieabfälle vom Innenbetrieb zu trennen sowie vor der Deponierung oder Ablagerung zu behandeln. Auch eine mögliche Weiterverwertung zur Nutzung des Energiegehalts der Abfälle findet in der bisherigen Abfallpolitik der Industrie-City keine Anwendung. Aus den oben genannten Gründen sollen bei der Neuformulierung der Gesetze und der rechtlichen Rahmenbedingungen folgende wichtige Aspekte berücksichtigt werden:

- Einführung der Grundsätze: Abfallvermeidung vor Verwertung vor Beseitigung,
- Verursacherprinzip: Unternehmer sind zuständig für die Entsorgung ihrer Abfälle,
- Durchführung des getrennten Erfassungsprinzips,
- Einführung und Gestaltung eines funktionierenden Abfallgebührensystems,
- Angemessene Zuständigkeitsreglung,
- Ausschließen der Ablagerung von nicht vorbehandelten Abfällen,
- Nutzung des Energiegehalts der energetisch verwertbaren Abfälle,
- Verbesserung der Situation und der Rahmenbedingungen zur Einbeziehung des privatwirtschaftlichen Sektors im Bereich der Abfallwirtschaft.

In der Hierarchie der Organisationsstruktur steht das Ministerium für lokale Verwaltung und Umwelt ganz oben (s. Abb. 36). Danach kommt das Gouvernement Aleppo, welches immer direkten Kontakt mit der Industrie-City aufnimmt. Die Verwaltung der Industrie-City übernimmt in ihrem Gebiet unabhängig von der Stadtverwaltung Aleppo die Verantwortung für die Organisation und Durchführung der Abfallentsorgung. Dementsprechend hat sie das so genannte Umweltcenter gegründet, um die Abfälle umweltverträglich zu entsorgen und damit die Umwelt zu schützen. Dieses Center besteht aus vier Ingenieuren und sechs weiteren Mitarbeitern. Sie haben allgemeine Kenntnisse über die Umwelt, es fehlen ihnen allerdings Fachkenntnisse und praktische Erfahrungen für den richtigen Umgang mit Industrieabfällen. Die Aufgaben des Centers gliedern sich in:

- Bereitstellung der Sammelbehälter,
- Abfallsammlung und Transport (feste und flüssige Abfälle),
- Ablagerung von Abfällen,
- Straßenreinigung,
- Wasser- und Stromversorgung,
- Teilnahme beim Genehmigungsprozess,
- Überwachung und Kontrolle,
- Bestrafen /Stilllegung.

Diese Aufgaben werden in der Regel aufgrund von organisatorischen Schwachstellen, technischen Mängeln und fehlender Finanzen nicht optimal erfüllt. Das Umweltcenter stellt den letzten Schritt in der aktuell vorhandenen Organisationsstruktur der Abfallwirtschaft dar. Um die Organisation zu verbessern, wird im Rahmen dieser Arbeit empfohlen, die aktuell existierende Struktur zu erweitern und weiter zu entwickeln. Hier ist die Gründung eines speziellen Abfallwirtschaftszentrums für den Umgang mit den festen und schlammartigen Abfällen von besonderer Bedeutung, dessen Struktur( inkl. der Aufgaben und Zuständigkeiten) in Abb. 36 vorgestellt wird

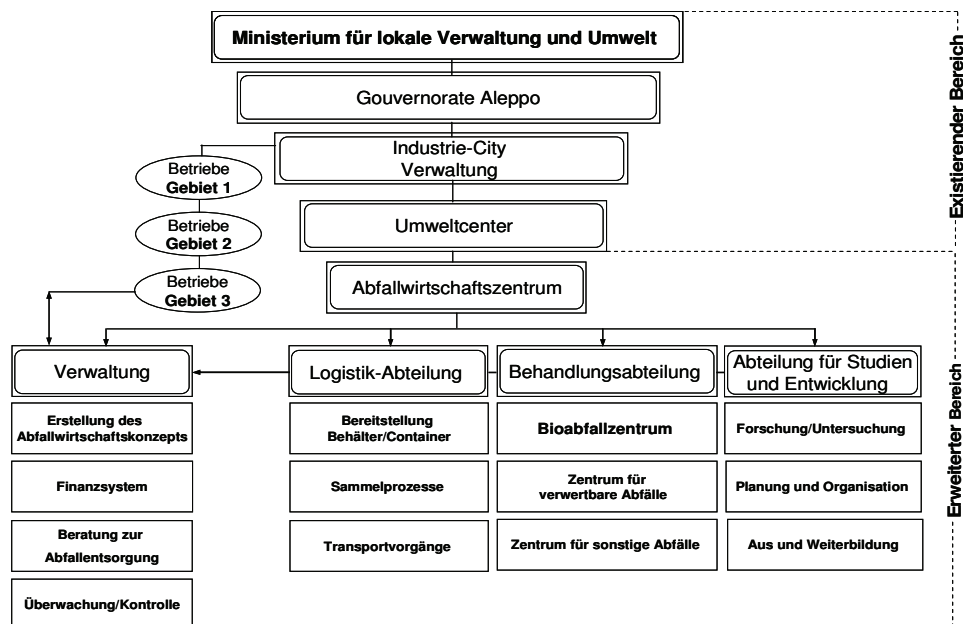


Abb. 36: vorhandene und zukünftig vorgeschlagene Organisationsstruktur

Dieses Zentrum sollte sich aus einer Verwaltung und drei Abteilungen zusammensetzen. Mit Hilfe unterschiedlicher Abteilungen können die Aufgaben verteilt und die Zuständigkeiten bzw. Verantwortungen genau festgelegt werden. Im Industriegebiet ist das aktuelle Finanzsystem nicht in der Lage, die Entsorgungskosten entstehender Industrieabfälle vollständig abzudecken. Es existiert hier noch kein funktionierendes Gebührensystem und die Unternehmer tragen nur einen geringen Anteil der Kosten mit. Die Finanzierungsstruktur ist nicht differenziert genug. Die Kosten sind immer gleich hoch und richten sich nicht an der Menge



und Art der anfallenden Industrieabfälle. So reichen die von den Betrieben zu entrichtenden Abfallgebühren nicht aus, um die gesamte Wirkungskette der Abfallentsorgung zu finanzieren. Für den letzten Schritt „Behandlung von Abfällen“ stehen meist keine ausreichenden Finanzmittel zur Verfügung. Zur Gewährleistung einer umweltgerechten Abfallentsorgung muss langfristig ein geeignetes Finanzierungs- bzw. Gebührenkonzept erstellt werden. In diesem Abschnitt erfolgt ein Vorschlag eines Gebührensystems für die Industrie-City.

Bei der Gestaltung und Einführung eines angepassten Gebührensystems müssen verschiedene Faktoren und Aspekte in Frage kommen. Zu den wichtigen Aspekten gehören die ausreichende Zahlungsfähigkeit und -bereitschaft der Unternehmer und das Erreichen einer hohen Akzeptanz für alle Beteiligten. Diese beiden Komponenten werden als Grundlage und Voraussetzung für den Erfolg und sowie für den sicheren Betrieb der Abfallwirtschaft angesehen. Um bei der Einführung des Gebührensystems erfolgreich zu sein, sollen auch geeignete gesetzliche Rahmenbedingung geschaffen und bestimmte Anforderungen an lokale Gegebenheiten berücksichtigt werden.

Um eine umweltverträgliche Entsorgung etablieren zu können, dürfen die Gebühren für die Abfallwirtschaft in der Industrie-City nicht zu hoch ausfallen. Zu hohe Entsorgungskosten würden vermutlich keine Akzeptanz finden und zur illegalen Entsorgung von Abfällen führen. Im Gegensatz dazu geben die bisher vorherrschenden niedrigen Gebühren keinen Anreiz zur Abfallvermeidung. Für die Industrie-City empfiehlt sich daher ein Gebührenkonzept, das aus einer Grundgebühr und einer variablen Gebühr besteht. Zur Festlegung der Gebührenhöhe müssen geeignete Maßstäbe ausgewählt werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt die wichtigen Kriterien, die bei der Bestimmung der Gebührenhöhe berücksichtigt werden sollten.

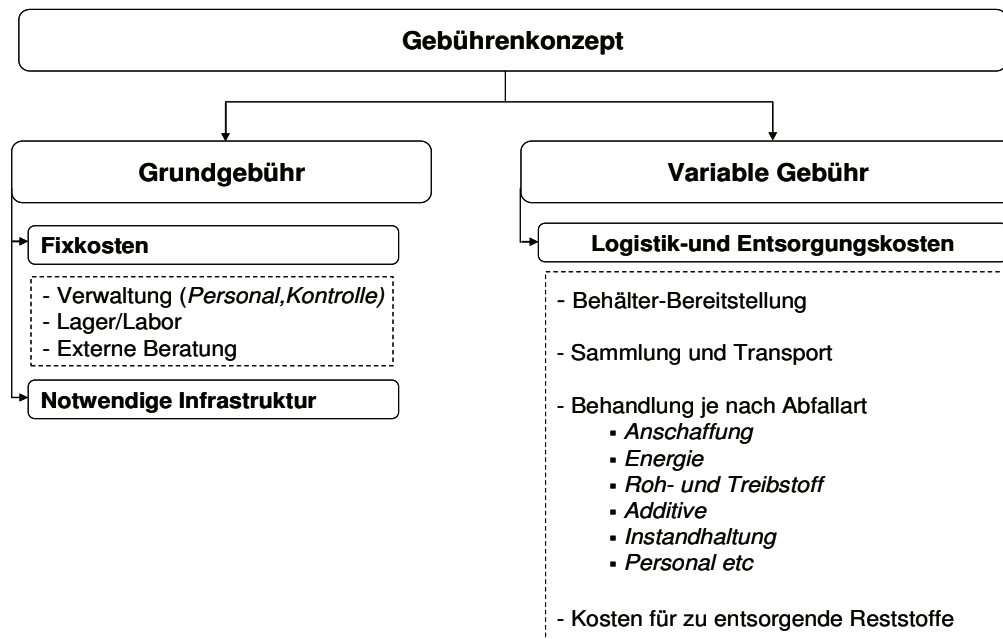


Abb. 37: Gebührenkonzept für die Industrie-City

Die Grundgebühr sollte in Bezug zur Grundstücksfläche berechnet werden. Sie berechnet sich aus den Kosten für Verwaltung, Lager, Labor sowie Beratung und Kosten für die notwendige Infrastruktur des Entsorgers. Die Grundgebühr je nach Fläche und Jahr lässt sich nach folgender Gleichung berechnen:

$$G_{gr} = \frac{K_{Fix} + K_{Infrast}}{A_{ges, indust}} \left[ \frac{\text{€}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}} \right] \quad (65)$$

Der jährlich von einem Betrieb zu bezahlenden Betrag für die Grundgebühr berechnet sich wie folgt:

$$G_{gr} = \frac{K_{Fix} + K_{Infrast}}{A_{ges, Indust}} \times A_{Betrieb} \left[ \frac{\text{€}}{\text{a}} \right] \quad (66)$$

Die variable Gebühr sollte von der Situation jedes Betriebes abhängen, d.h. sie ist von Betrieb zu Betrieb unterschiedlich und richtet sich nach verschiedenen Faktoren. Grundsätzlich sollte die variable Gebühr aus Logistik- Behandlungs- und Entsorgungskosten bestehen

$$G_v = K_{Logist} + K_{Behand.} + K_{Entsorg} \left[ \frac{\text{€}}{\text{t}} \right] \quad (67)$$

Logistikkosten bestimmen sich nach Anzahl der Behälter, Behältergröße, Abfuhrhythmus, Sammel- und Transportaufwand. Weiterhin hängen die Behandlungskosten von Abfallmenge sowie -art und Behandlungsaufwand ab. Der Aufwand errechnet sich aus den Kosten für die Anschaffung von Energie, Roh- und Treibstoffen und Additiven, zusätzlich aus den Kosten für Instandhaltung und Personal. Abschließend werden die Kosten für zu entsorgenden Reststoffe aus der Behandlungsanlage mengen- und verfahrensabhängig festgelegt. Mit Hilfe der Angaben der folgenden Fragen lässt sich die Höhe der Grundgebühr und die variable Gebühr genauer berechnen und festlegen:

- Wie hoch ist die anfallende Menge an gefährlichen und ungefährlichen Abfällen?
- In welchem Verfahren sollen die Abfälle behandelt und entsorgt werden?
- Wie viele Sammelbehälter werden dem Betrieb bereitgestellt?
- Wie viele wöchentliche/monatliche Entleerungen sind notwendig?
- Wie lang ist die Sammelstrecke?/Wohin sollen die Abfälle transportiert werden?

Darüber hinaus können die zu schaffenden notwendigen technischen Systeme und Infrastrukturen (wie z.B. Verbrennungsanlage, Biogasanlage) bedarfsgerecht erfasst sowie die Anlagengröße und -auslastung bestimmt werden. Ein nachhaltiges Abfallwirtschaftssystem muss betriebswirtschaftlich funktionieren. Es müssen z.B. Rücklagen gebildet werden, um die erforderlichen Schritte nach und nach realisieren zu können.

## **8.2 Lösungskonzepte zum Umgang mit den Industrieabfällen**

Im Rahmen der Untersuchung der Abfallwirtschaftssituation in der Industrie-City in Aleppo wird festgestellt, dass die entstehenden Industrieabfälle aus den Industriebranchen vielfältig sind, bestimmte Produktionsabfälle in einer erheblichen Menge anfallen und einige Betriebe nur kleine Abfallmengen produzieren. Um einen umweltgerechten Umgang mit vorhandenen Industrieabfällen zu erreichen, braucht die Industrie-City ein Abfallwirtschaftskonzept, dass die realistische Lösung für den aktuellen Zustand umfasst. Anhand der Analysenergebnisse und der innerhalb der Arbeit durchgeführten Untersuchungen werden für die Industrie-

City die in Abb. 38 dargestellten Lösungswege vorgeschlagen. Grundsätzlich ist in der Abb. 38 zwischen zurzeit notwendigen und zukünftigen Wegen zu unterscheiden. Zurzeit notwendige Wege stellen die Mindestschritte dar, die derzeit unternommen werden müssen. Allgemein empfiehlt es sich, den Bereich haushüllähnliche Gewerbeabfälle von produktionsspezifischen Abfällen organisatorisch zu trennen.

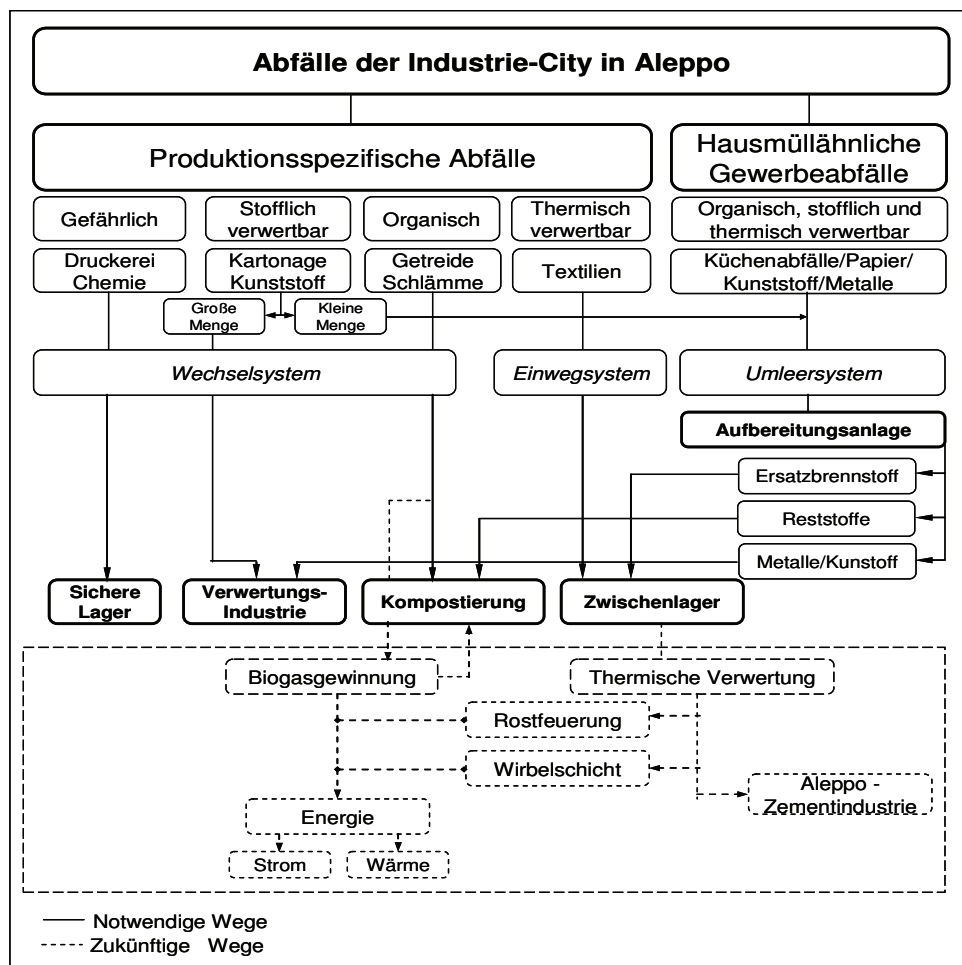


Abb. 38: Fließbild des Umgangs mit Industrieabfällen in Aleppo

### Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle

Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle entstehen aus allen Industriebetrieben. Die Menge dieser Abfallart ist sehr stark von der Art der Produktion und deren Mechanisierung und Automatisierung, der Anzahl der Betriebsmitarbeiter und den Betriebsschichten beeinflusst. Bei der Analyse der Zusammensetzung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle aus unterschiedlichen Branchen wird herausgefunden, dass diese Abfälle überwiegend aus organischen Stoffen wie Küchenabfällen, Speiseresten (der Anteil kann bis zu 60 % betragen) bestehen. Daneben befinden sich auch verwertbare Abfälle (Metalle, Papier, Kunststoff) und Reststoffe. Das Umleerverfahren eignet sich aufgrund der Beschaffenheit dieser Abfallart (Dichte  $> 300 \text{ kg/m}^3$ ) gut für die Sammlung. Für diese Abfallart ist es sinnvoll, eine Aufbereitungsanlage aufzubauen. Durch mechanische und physikalische Prozesse können die verwertbaren Stoffe (sowohl stofflich als auch energetisch) aussortiert und gewonnen werden. Erfahrungsgemäß sind Wertstoffe mit niedriger Qualität in Syrien schwer zu vermarkten. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, aus den aussortierten Wertstoffen wie Papier, Kunststoff, Plastiksäcke etc. Ersatzbrennstoff (EBS) herzustellen. Der EBS kann zukünftig zusammen mit den Textilabfällen thermisch verwertet werden. Die erzeugte Energie (Strom und Wärme) kann im Industriegebiet genutzt werden. In dieser Hinsicht braucht die Industrie-City unbedingt fachliche Beratung. Nach dem Heraussortieren verwertbarer Stoffe können die Reststoffe, die sich hauptsächlich aus organischen Materialien zusammensetzen, kompostiert werden. Endprodukte der Kompostierung sind je nach Qualität als Bodenhilfsmittel oder als Sekundärdüngemittel zu verwenden. Das Interesse an dem Aufbau einer Aufbereitungsanlage wird wohl zukünftig in der Industrie-City zunehmen, wenn die Industriemitarbeiter mit ihrer Familie das Industriegebiet bewohnen (es wird geplant, dass im Wohngebiet ca. 200. 000 Mitarbeiter wohnen). Wie bei den hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen ist es möglich, die Abfälle aus dem Wohngebiet, die Bestandteile wie Organik, Wertstoffe, Metalle etc. beinhalten, durch Aufbereitungsanlagen zu separieren und weiter zu behandeln und zu verwerten.

### Produktionsspezifische Abfälle

Im Rahmen der Untersuchungen werden vier wesentliche Abfallarten bei den Produktionsprozessen festgestellt. Dementsprechend können die aktuellen Stoffströme der Produktion in folgenden Kategorien klassifiziert werden:

- organische,
- stofflich verwertbare,
- energetisch verwertbare und
- gefährliche Abfälle.

Die organischen Abfälle und die energetisch verwertbaren Stoffe weisen zurzeit im Vergleich zu den anderen eine große Menge auf. Diese beiden Arten sind meistens in der Textilindustrie und im Lebensmittelbereich zu finden und können separat erfasst und gesammelt werden. Die gefährlichen Abfälle fallen im Rahmen des Produktionsprozesses in einigen Betrieben an, insbesondere in der chemischen Industrie. Zum Umgang mit den stofflich verwertbaren Stoffen (Metalle, Kunststoff, Papier etc.) lassen es sich zwei Vorgehensweisen abhängig von der anfallenden Abfallmenge und der jeweiligen Lagerkapazität unterscheiden. In Betrieben bei denen große Mengen an verwertbaren Abfallstoffen (z.B. Papier, Kunststoff) anfallen, wird diese Abfallart gelagert, dann meist durch Händler vermarktet und letztendlich in der Aleppo-Verwertungsindustrie wieder verwendet. Im Gegensatz dazu werden in vielen kleineren Betrieben die stofflich verwertbaren Stoffe zusammen mit den hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen erfasst und entsorgt. Diese Handlungspraxis resultiert meist aus der geringen anfallenden Abfallmenge und dem fehlenden innerbetrieblichen Lagerplatz. Eine Weitervermarktung findet daher kaum statt. Für die Sammlung der produktionsspezifischen Abfälle ist es sinnvoll, das Wechsel- und Einwegverfahren einzusetzen. Für die Sammlung der Textilabfälle, welche eine geringe Dichte und ein großes Volumen aufweisen, bietet sich das Verfahren „Einwegsystem“ besonders gut an. Durch spezielle Säcke aus Kunststoff können die Textilabfälle innerbetrieblich gesammelt und dann mittels eines geeigneten Fahrzeugs zum geplanten Standort transportiert werden. Das Wechselverfahren bietet sich als ein zweites Sammelverfahren an. Es ist geeignet für die Sammlung

anderer Abfallarten wie Schlamm, Getreiderückstände, salzhaltige Abfälle etc. Diese Abfälle fallen regelmäßig in einer großen Menge an und weisen eine große Masse pro Volumen auf. Neben der Aufbereitungsanlage sollten im Industriegebiet eine biologische Behandlungsanlage - insbesondere für Getreiderückstände und schlammartige Abfälle - und eine thermische Verwertungsanlage für Textilreststoffe aufgebaut werden. Im nächsten Abschnitt werden diese Anlagen ausführlich beschrieben.

### **8.3 Aufbau der Infrastrukturen und der Anlagen**

#### **8.3.1 Logistik**

Das Abfallwirtschaftssystem hat einen sehr großen Bedarf am Aufbau unterschiedlicher Infrastrukturen und Anlagen. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Situation der Logistik in der Industrie-City durch Mangel an finanziellen und technischen Ausstattungen und durch eine schwache Organisationsstruktur gekennzeichnet ist. Die gefährlichen und ungefährlichen Abfälle aus den Produktionsprozessen werden zusammen gemischt und in einem Sammelbehälter mit den hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen gesammelt, transportiert und abgelagert. Diese Behälter haben kein vernünftiges System zum Umleeren. Sie werden entweder manuell durch Mitarbeiter oder durch die Schaufel des Frontladers in einem Traktor umgeleert. Es wird festgestellt, dass die Industrie-City unterschiedliche Behälter- und Sammelsysteme benötigt. Dies lässt sich durch verschiedene Abfallformen und -arten sowie Eigenschaften begründen. Für die Sammlung der anfallenden Industrieabfälle bieten sich die Umleer- Wechsel- und Einwegverfahren als eine zentrale Lösung an. Dementsprechend ist die Industrie-City mit geeigneten Sammel- und Transportmittel auszurüsten. Zur Verbesserung der aktuellen Situation der Logistikprozesse in der Industrie-City werden folgende Lösungswege vorgeschlagen:

- Einführung des getrennten Sammlungsprinzips,
- Bereitstellung der Behälter und Container in verschiedenen Arten, Größen und Volumen,
- Auswahl des geeigneten Sammelverfahrenes je nach Abfallart.

Neben logistischen Ausstattungen ist es erforderlich, Labore für Analytik im Bereich der Umwelt, des Wassers- und Abwassers und des Bodens zu errichten. Weiter besteht ein großer Bedarf an Ingenieurbüros, die Lösungen in Zusammenarbeit mit der „Abteilung für Studien und Entwicklung“ des Abfallwirtschaftszentrums finden, weiter entwickeln und in der Praxis umsetzen können.

### **8.3.2 Behandlungsanlage**

#### **8.3.2.1 Thermische Verwertungsanlage**

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Textilabfälle zur Energiegewinnung untersucht, was aus ökonomischen und ökologischen Aspekten sinnvoll ist. Die Untersuchungen zur Stoffcharakterisierung haben verdeutlicht, dass die Textilabfälle als Quelle zur Energiegewinnung gut geeignet sind. Aus diesem Grund müssen sie in der Konzeption für einen energetischen Zweck verwendet und nicht mehr deponiert werden. Dafür kommen heutzutage unterschiedliche thermische Verfahren und Technologien zum Einsatz. Um das geeignete thermische Verfahren für die Energiegewinnung und Stoffumwandlung festzulegen, soll eine Vielzahl von Untersuchungen durchgeführt werden. Innerhalb dieser Arbeit werden einerseits die thermogravimetrischen Untersuchungen (Pyrolyse) vorgenommen, mittels dieser das thermische Verhalten und die Entgasungsfähigkeit der Textilabfälle untersucht werden. Andererseits wird das Verbrennungsverhalten der Textilabfälle auf dem Rost untersucht. Die Ergebnisse der Untersuchungen haben gezeigt, dass die thermische Verwertung der Textilabfälle durch die Verbrennungsverfahren erfolgen soll. Dagegen sind die Textilabfälle für die Herstellung heizwertreicher verwertbarer Gase durch die Pyrolyse nicht zu empfehlen, da es in Syrien keine geeignete Möglichkeit für energetische und stoffliche Verwertung der anfallenden Pyrolyseöle und -Teere gibt. Die Verbrennung der Textilabfälle kann sowohl in einer Rostfeuerung als auch in einer Wirbelschicht realisiert werden. Die Ergebnisse des Verbrennungsverhaltens auf der Chargenrost-Versuchsanlage deuteten darauf hin, dass sich die untersuchten Textilabfälle außer Faserreste für die Verbrennung auf dem Rost eignen. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit die Textilabfälle in der Zementindustrieanlage Aleppo thermisch zu verwerten. Diesem Verwertungsweg stehen momentan



die Interessen des Ministeriums für Industrie entgegen, da dort befürchtet wird, dass sich durch thermische Verwertung der Textilabfälle in Zementöfen die Produktqualität des Zements verschlechtern könnte. Da bis heute keine spezielle thermische Verwertungsanlage in Aleppo existiert, sollten die Textilabfälle so lange an einem Standort zwischengelagert werden, bis eine thermische Verwertung möglich ist.

Zur Vorprüfung der Realisierungschance einer thermischen Verwertungsanlage in Syrien soll eine Wirtschaftlichkeitsberechnung unter Berücksichtigung der syrischen Rahmenbedingungen durchgeführt werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird als Beispiel die Untersuchung zur Wirtschaftlichkeit einer 6 MW Wirbelschicht-Kesselanlage, die eine thermische Verwertung der anfallenden Textilabfälle in der Industrie-City „Scheich Najar“ sicherstellen kann, durchgeführt. Die Berechnungen werden mit einem entwickelten betriebswirtschaftlichen Berechnungsmodell für eine Nutzungszeit von 10 Jahren, einem Eigenkapitalanteil von 30 % und einem Zinssatz von 6 % p.a. durchgeführt. Das Berechnungsmodell wurde von Prof. Steinbrecht am Institut für Energie -und Umwelttechnik der Universität Rostock entwickelt und zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Wirbelschicht-Kesselanlage wie nach Nelles et al., 2009 eingesetzt. Die ausführliche Darstellung des Modells sowie die Berechnungsverfahren sind in Steinbrecht, 2007[b] zu finden.

Das Berechnungsmodell beschreibt Gewinn vor Steuern ( $GvSt = \sum \text{Erlöse} - \sum \text{Kosten}$ ) als Funktion von Volllaststundenzahl  $b$  (Erlöse-/kostenfunktion). Ein Gewinn vor Steuern wird erwirtschaftet, wenn  $\sum \text{Erlöse} - \sum \text{Kosten}$  größer Null sind. Ist die technisch möglich erreichbare Volllaststundenzahl  $b$  gleich der minimalen Volllaststundenzahl  $b_{\min}$  ( $b = b_{\min}$ ), ist  $GvSt = 0$ . Je geringer die minimale Zahl der Volllaststunden ist, um so eher sind die Chancen gegeben, dass sich das Verfahren in der Praxis bewähren wird. Liegt diese Zahl nah der maximal möglichen Zahl 8760 h/a, hat das Verfahren absolut keine Chance (Steinbrecht, 2007[b]). Da es im Industriegebiet einen großen Bedarf an Wärme

für die Industrieprozesse gibt, wird bei der Untersuchung zur Wirtschaftlichkeit der Wirbelschicht-Kesselanlage nur die Wärmeproduktion betrachtet, d.h. durch thermische Verwertung der Textilabfälle erfolgt keine Stromerzeugung. Unter Nutzung und Modifikation des von Prof. Steinbrecht entwickelten Modells können die Ziele der Wirtschaftlichkeitsberechnung wie folgt zusammengefasst werden:

- die Untersuchung zur Wirtschaftlichkeit einer 6 MW Wirbelschicht-Kesselanlage unter Berücksichtigung der syrischen Marktbedingungen (Wärmeabgabepreis 40 €/MWh, Entsorgungsgebühr 10 €/t).
- Untersuchung der Beeinflussung des Brennstoff-Annahmepreises (BS-Annahmepreis) auf die Wirtschaftlichkeit. Für den BS werden für 6 MW Wirbelschicht-Kesselanlage Einnahmen in Höhe von 20, 30, 40 €/t bei einem Wärmeverkaufspreis von 40 €/MWh untersucht.
- Ermittlung realisierbarer Wärmeerlöse, die einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlage beim BS-Annahmepreis = 0 €/t (Grenzfall) gewährleisten kann.

Die Angaben über die Investitions- und Betriebskosten der Anlage sowie die Methode zur Wirtschaftlichkeitsberechnung sind ausführlich im Anhang dargestellt. Abb. 39 und Abb. 40 stellen die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung dar.

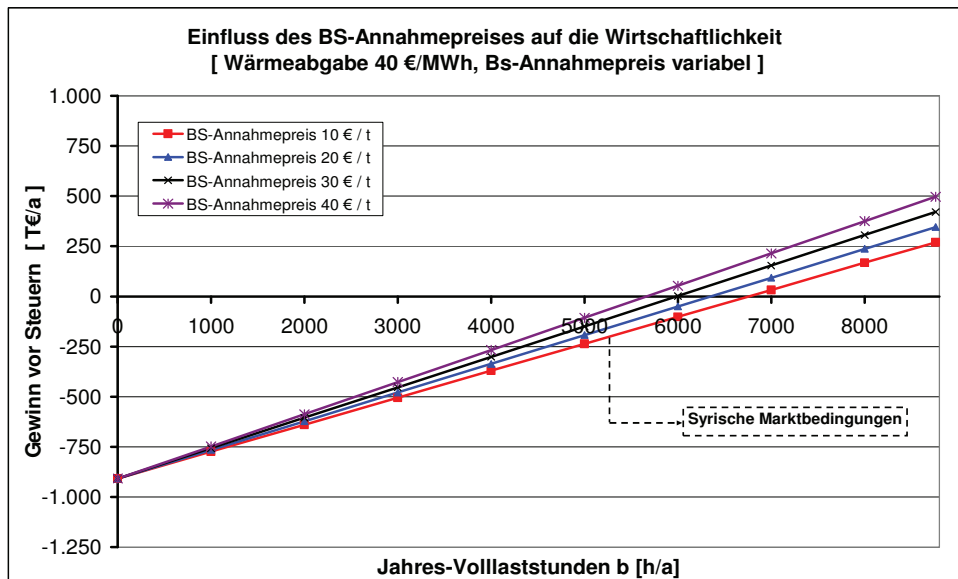


Abb. 39: Erlöse-/Kostenfunktion bei Wärmeabgabe 40 €/MWh und BS-Aannahmepreis variabel

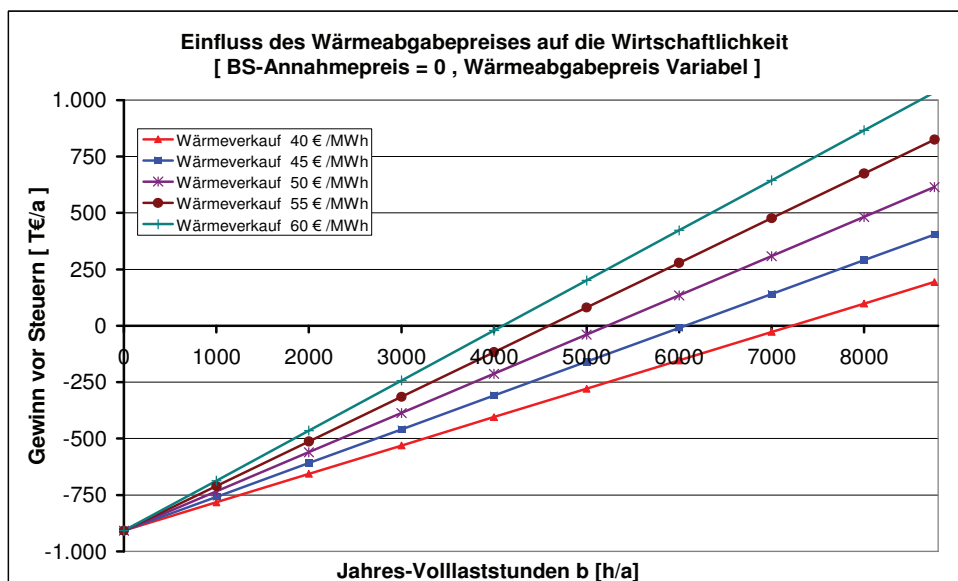


Abb. 40: Erlöse-/Kostenfunktion bei BS-Aannahmepreis 0 €/t und Wärmeabgabe variabel

Zur Schaffung eines Anreizes für die Investition sollte die sich aus der Kostenuntersuchung ergebende Eigenkapital-Verzinsung höher sein als die markt-

üblichen Bankzinsen (Steinbrecht, 2007[b]). Laut der Faustregel in dieser Branche soll diese Eigenkapitalrendite mindestens 10 % betragen. Die Tab. 23 zeigt die Ergebnisse der Rentabilitätsanalyse für jede untersuchte Situation.

Tab. 23: Rentabilitätsanalysen der untersuchten Situationen bei der Wirbelschicht-Kesselanlage

	Eigenkapital	Gewinn vor Steuern	Eigenkapital- Verzinsung
<b>Wärmeabgabepreis 40 €/ MWh , BS-Annahmepreis variabel</b>			
<i>BS-Annahmepreis 10 €/ t</i>	<b>1.686.060 €</b>	167.322 €/a	<b>9,92 %</b>
<i>BS-Annahmepreis 20 €/ t</i>		236.442 €/a	<b>14,02 %</b>
<i>BS-Annahmepreis 30 €/ t</i>		305.562 €/a	<b>18,12 %</b>
<i>BS-Annahmepreis 40 €/ t</i>		374.682 €/a	<b>22,22 %</b>
<b>Wärmeverkaufpreis variabel , BS-Annahmepreis = 0</b>			
<i>Wärmeverkauf 40 €/ MWh</i>	<b>1.686.060 €</b>	98.202 €/a	<b>5,82 %</b>
<i>Wärmeverkauf 45 €/ MWh</i>		290.202 €/a	<b>17,21 %</b>
<i>Wärmeverkauf 50 €/ MWh</i>		482.202 €/a	<b>28,60 %</b>
<i>Wärmeverkauf 55 €/ MWh</i>		674.202 €/a	<b>39,99 %</b>
<i>Wärmeverkauf 60 €/ MWh</i>		866.202 €/a	<b>51,37 %</b>

Die Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit einer 6 MW Wirbelschicht-Kesselanlage zeigen deutlich, dass aufgrund des niedrigen Rentabilitätswertes die Wirtschaftlichkeit der Anlage unter den aktuell vorhandenen syrischen Rahmenbedingungen (Wärmeabgabepreis 40 €/MWh, Entsorgungsgebühr 10 €/t) nicht darstellbar ist. Bei einem Wärmeabgabepreis von 40 €/MWh soll der BS-Annahmepreis mindestens 20 €/t betragen. Für Einnahmen aus BS größer als 20 €/t ergibt sich ein sicherer wirtschaftlicher Betrieb der 6 MW Wirbelschicht-Kesselanlage. Sind keine BS-Annahmeerlöse mehr erzielbar, kann die Wärme aufgrund des geringen Gewinns unter den untersuchten genannten Bedingungen für 40 €/MWh nicht verkauft werden. Für den Grenzfall BS-Annahmepreis 0 €/t soll die Wärme mindestens zu 45 €/MWh verkauft werden. Weiterhin führt ein Wärmeverkaufpreis zu 60 €/MWh zu einem sehr wirtschaftlichen Ergebnis.

### **8.3.2.2 Biologische Behandlungsanlage**

Um einen umweltgerechten Umgang mit organischen Abfällen und Reststoffen erreichen zu können, sollen sie biologisch behandelt werden. Die Getreiderückstände, Bioabfälle und Schlämme aus Kläranlagen stellen die relevanten organischen Reststoffe in der Industrie-City dar. Diese Stoffe werden als Inputmaterial bei Kompostierungsversuchen eingesetzt. Laut den Untersuchungsergebnissen kann neben der Stabilisierung der organischen Bestandteile ein schadstoffarmer Kompost mit hoher Qualität hergestellt werden. Dadurch kann die Industrie-City neben der Reduzierung der negativen Umweltauswirkungen, die durch die Ablagerung der organischen Stoffe verursacht werden, das Geld durch Vermarktung des Kompostes verdienen. Aus diesem Grund nimmt die Kompostierung den Kernpunkt des in der Abb. 38 dargestellten Konzepts ein. Es ist notwendig eine Kompostierungsanlage im Industriegebiet zu errichten, um die organischen Stoffe aus den Hauptabfallgruppen (produktionsspezifische und haus-müllähnliche Abfälle) umweltverträglich behandeln zu können. Die Voraussetzungen für den Aufbau einer Mietenkompostierungsanlage sind im Industriegebiet derzeit fast erfüllt. Die Industrie-City besitzt ein ausreichendes Grundstück für die Errichtung der Anlage. Finanziell weisen die Mietenkompostierungen geringere Investitionskosten als dynamische Verfahren wie z.B. Drehtrommel auf. Aufgrund des Energiebedarfs im Industriegebiet soll das Abfallwirtschaftskonzept als zukünftiges Ziel ein anaerobes Behandlungsverfahren (Biogasanlage) für organische Produktionsreststoffe wie „Getreiderückstände“ umfassen. Hierbei stellt sich die Frage: Kann eine Biogasanlage unter aktuell vorhandenen syrischen Marktbedingungen wirtschaftlich betrieben werden? Um diese Frage beantworten zu können, werden - wie in Abschnitt 8.3.2.1 - auch für diese Anlage Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchgeführt. Da die Größe der Biogasanlage einen wesentlichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit hat, werden unterschiedliche Biogasanlagengrößen für die Vergärung der Getreiderückstände unter identischen Bedingungen untersucht. Die nachfolgende Tabelle stellt die Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung dar.

Tab. 24: Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung der Biogasanlagen

<b>Investitionskosten</b>		
Spezifische Investitionskosten	€/kW <sub>el</sub>	<b>4000</b>
Förderung	%	<b>0</b>
Eigenkapitalanteil	%	<b>30</b>
Nutzungsdauer	Jahre	<b>10</b>
Zinsen	%	<b>6</b>
Versicherung	%	<b>0,5</b>
<b>BHKW</b>		
Elektrischer Wirkungsgrad	%	<b>38</b>
thermischer Wirkungsgrad	%	<b>52</b>
Maximale Volllaststunden	h/a	<b>8.000</b>
<b>Strom und Wärme-Eigenbedarf</b>		
Eigenstrombedarf -Strom	%	<b>6</b>
Eigenwärmebedarf - Wärme	%	<b>30</b>
<b>Kompost</b>		
Kompostmenge	% des Inputs	<b>50</b>
Kompostverarbeitung	€/t	<b>10</b>
<b>Personal</b>		
Anzahl	Person	<b>10</b>
Gehalt	€/Monat	<b>1000</b>
<b>Betriebskosten</b>		
Wartung und Reparaturkosten	% der Gesamtinvestition	<b>1,5</b>
<b>Syrische Marktbedingung</b>		
Entsorgungsgebühr	€/t	<b>10</b>
Stromverkaufspreis	ct/ kWh <sub>el</sub>	<b>8</b>
Wärmeverkaufspreis	ct/ kWh <sub>therm</sub>	<b>4</b>
Düngererlöse	€/t	<b>20</b>

Mit Hilfe der in Tab. 24 dargestellten Angaben und der gewonnen Ergebnisse aus den durchgeführten Vergärungsversuchen mit Getreiderückständen [Durchschnittliche Werte: spezifischer Biogasertrag (355 l(n)/kg oTs), Methangehalt (53,52 %) und oTs-Gehalt (0,76 kg oTs/kg S)] wird die Wirtschaftlichkeit für drei unterschiedliche Biogasanlagen-Leistungswerte (500, 1000,1500 kW<sub>el</sub>) beurteilt. Verschiedene Einnahmenvarianten werden bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung der vorgeschlagenen Anlageleistungswerte diskutiert. Bei der Variante 1 wird der Erlös nur aus dem Stromverkauf erwirtschaftet. Wird neben dem Strom die Wärme verkauft, wird dies als Variante 2 bezeichnet. Weiterhin stellen Strom-Wärme- und Kompostverkauf die Einnahmenquellen bei der Variante 3 dar. Die Methode der Wirtschaftlichkeitsberechnung wird ausführlich im Anhang beschrieben.

Abb. 41, Abb. 42 und Abb. 43 veranschaulichen die Untersuchungsergebnisse zur Wirtschaftlichkeit vorgeschlagener Anlageleistungen.

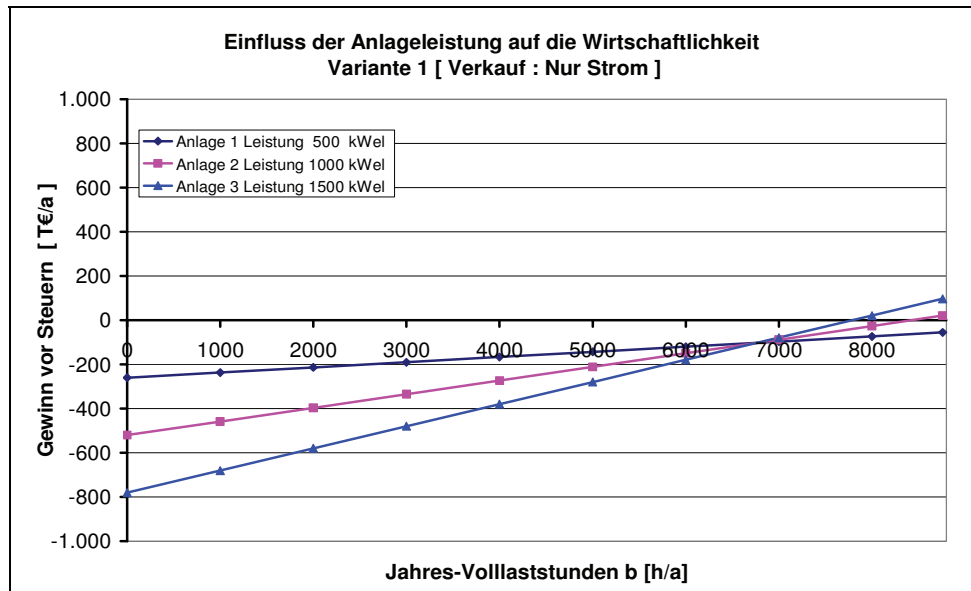


Abb. 41: Erlöse-/Kostenfunktion beim Nur- Stromverkauf für unterschiedliche Leistung der Biogasanlage

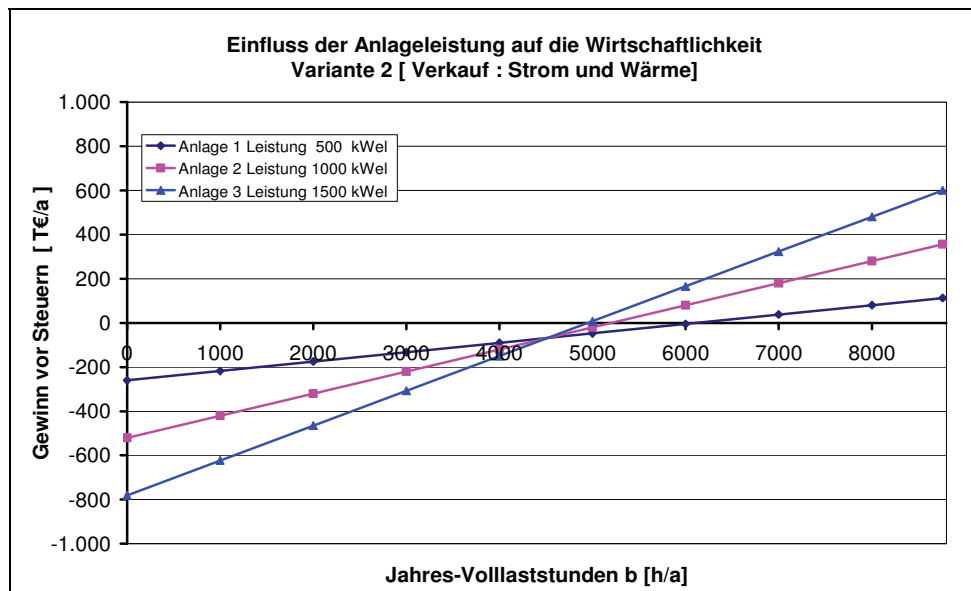


Abb. 42: Erlöse-/kostenfunktion beim Strom-und Wärmeverkauf für unterschiedliche Leistung der Biogasanlage

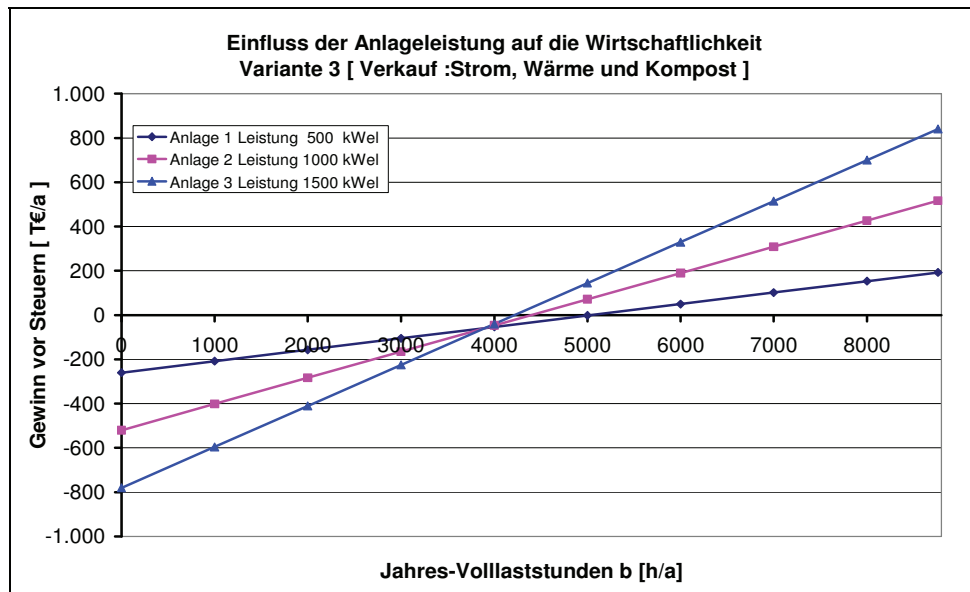


Abb. 43: Erlöse-/kostenfunktion beim Strom-Wärme-und Kompostverkauf für unterschiedliche Leistung der Biogasanlage

Um die Wirtschaftlichkeitsgrenze festzulegen, werden die Rentabilitätsanalysen vorgenommen und die Ergebnisse in Tab. 25 gegeben. Die Eigenkapitalrendite soll gemäß der Faustregel mindestens 10 % sein.

Tab. 25: Rentabilitätsanalysen der untersuchten Situationen bei unterschiedlichen Leistungen der Biogasanlage

Anlageleistung	Eigenkapital	Gewinn vor Steuern	Eigenkapital-Verzinsung	Spezifische Gewinne vor Steuern
	€	€/a	%	ct je kW <sub>el</sub> -installiert.
<b>Anlage 1 (500 kW<sub>el</sub>)</b>				
Variante 1	600.000	-72.966	<b>-12,16</b>	-1,82
Variante 2		80.297	<b>13,38</b>	2,01
Variante 3		153.196	<b>25,53</b>	3,83
<b>Anlage 2 (1000 kW<sub>el</sub>)</b>				
Variante 1	1.200.000	-25.932	<b>-2,16</b>	-0,32
Variante 2		280.594	<b>23,38</b>	3,51
Variante 3		426.391	<b>35,53</b>	5,33
<b>Anlage 3 (1500 kW<sub>el</sub>)</b>				
Variante 1	1.800.000	21.102	<b>1,17</b>	0,18
Variante 2		480.892	<b>26,72</b>	4,01
Variante 3		699.587	<b>38,87</b>	5,83



Die Analysenergebnisse verdeutlichen, dass kleine und große Biogasanlagen nach der Berechnung in Variante 1 (nur Stromverkauf) in Syrien wirtschaftlich nicht betrieben werden können. Die Anlagen haben absolut keine Chance zur Realisierung, da sich hierbei keine Gewinne ergeben würden und die minimale Volllaststundenzahl nah der maximal möglichen Zahl 8000 h/a liegt (s. Abb. 41). Für den wirtschaftlichen Betrieb der Biogasanlagen in Syrien ist es notwendig, dass die Wärme genutzt werden kann. Wird die Wärme und der Strom verkauft, soll die Anlage mindestens eine Leistung von 1000 kW<sub>el</sub> aufweisen. Die kleine Anlage (z.B. 500 kW<sub>el</sub>) ist eher ungeeignet, da sie einen zu geringen Gewinn erwirtschaften würde. Darüber hinaus ist der wirtschaftliche Betrieb der Biogasanlage mit Leistung von 500 kW<sub>el</sub> in Syrien nur möglich, wenn alle Output-Produkte verkauft werden. Weiterhin deuten die Untersuchungsergebnisse darauf hin, dass sich der Gewinn je installiert-kW<sub>el</sub> mit steigender Anlageleistung erhöht. Aus diesem Grund empfiehlt es sich, entsprechend der Möglichkeit große Biogasanlageleistung in der Industrie-City zu errichten.

## **8.4 Schritte und Anforderungen der anschließenden Phase**

Zur Realisierung und Durchführung des vorgeschlagenen Konzepts sollen bestimmte Anforderungen in der Industrie-City zuerst erfüllt und anschließend einige Schritte unternommen werden. Diese Schritte gliedern sich in kurzfristige, mittelfristige und langfristige Schritte.

### **8.4.1 Kurzfristige Schritte**

Um die Risiken für Mensch und Umwelt zu minimieren, sollen einige Maßnahmen bis zum Zeitpunkt des Aufbaus der notwendigen Anlage und der Ausrüstung der Industrie-City mit den technischen Ausstattungen ergriffen werden. Der Verwaltung der Industrie-City werden folgende notwendige Maßnahmen als kurzfristige Lösungen für den schnellen Umgang mit den existierenden Problemen vorgeschlagen:

- Sammlung der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle ist von den Produktionsabfällen zu trennen.

- Sammlung der produktionsspezifischen Abfälle soll nach Industriezweigen und zurzeit nach Betrieben, die Sonderabfälle und ungefährliche Abfälle produzieren, erfolgen. Hier können einige Abfallarten getrennt gesammelt und die Mischung verschiedener Abfälle vermieden werden. Zum Beispiel bei der Sammlung der Abfälle aus dem Lebensmittelbereich können rein organische Stoffe erfasst, gesammelt und nicht mit einer anderen Art wie Textilien gemischt werden. Wird die Sammlung nach Betrieben, aus denen Sonderabfälle anfallen, vorgenommen, können auf diese Art und Weise die gefährlichen Abfälle separat erfasst und auch nicht mit ungefährlichen gemischt werden.
- Die erfassten organischen Stoffe aus den Produktionsprozessen (wie z.B. Getreiderückstände, Schlämme etc.) und aus den hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen (Speisereste, Küchenabfälle etc.) sollten biologisch durch die Mietenkompostierung, die sich zurzeit durch den Einsatz einfacher Technik im Industriegebiet durchführen lässt, behandelt werden. Für das Umsetzen der Miete können die in der Industrie-City vorhandenen Frontlader bis zum Beschaffen eines Kompostumsetzers zum Einsatz kommen. Dadurch kann einerseits die negative Umweltauswirkung durch die Ablagerung der organischen Materialien verhindert wird (Stabilisierung) und andererseits das Volumen der zu deponierenden Stoffe reduziert und damit können die Kosten gespart werden.
- Um den Energiegehalt des Abfalls zu nutzen, müssen die heizwertreichen Fraktionen, insbesondere die Textilabfälle, in einem Standort zwischengelagert werden, bis eine thermische Anlage aufgebaut wird bzw. bis eine thermische Verwertung im Zementwerk-Aleppo möglich ist. Durch diesen Schritt können die verursachten Kosten durch die Deponierung der Textilabfälle gespart werden.
- Zusammenarbeit mit der Stadt Aleppo zur Entsorgung einiger Abfallarten. Hier kann die sichere Ablagerung gefährlicher Industrieabfälle in Zusammenarbeit mit der Stadt- Aleppo, die eine Deponie betreibt, erreicht werden.

#### 8.4.2 Mittelfristige und langfristige Schritte

Für das Überwinden existierender technischer und finanzieller Probleme bietet sich die Einbeziehung des privatwirtschaftlichen Sektors an. Dadurch können die Defizite an Fachwissen und an praktischen Erfahrungen, die unzureichende Organisation und auch die mangelnde Ausstattung der Industrie-City zum Teil ausgeglichen werden. Hier kann die Industrie-City ein privates Unternehmen teilweise oder komplett mit der Abfallentsorgung beauftragen. Am besten empfiehlt es sich, die Industrie-City neben dem privaten Unternehmen an der Abfallentsorgung zu beteiligen. Als mittel- und langfristige Lösung wird die Gründung von Jointventures aus der Privatwirtschaft (nationale oder internationale Firmen) mit der Öffentlichkeit (Industrie-City) vorgeschlagen. Die Struktur, Qualifikation und Aufgaben des Jointventures sind in der Abb. 44 dargestellt. Der Privatwirtschaftsanteil sollte bei 49 % und der öffentliche Anteil bei 51 % liegen. Anhand dieser Struktur können die Entscheidungen in der Hand der Industrie-City bleiben.

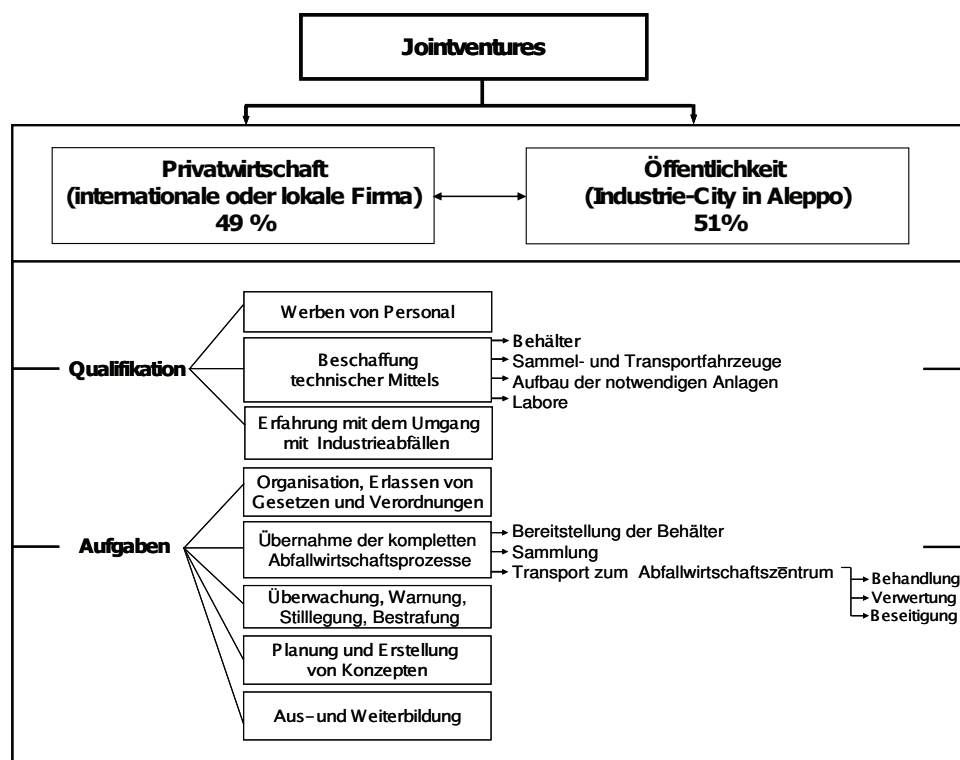


Abb. 44: Jointventure-Struktur

Die neu geschaffene Firma sollte über folgende Qualifikationen verfügen:

- Beschäftigung von hoch qualifizierten und normal qualifizierten Angestellten.
- Erfahrungen im Bereich der Abfallwirtschaft. Die Firma muss ausreichende Erfahrungen mit den Verwertungs- und Behandlungsverfahren für die Industrieabfälle haben.
- Verfügung über ausreichende Mittel für die Sammlung und den Transport wie z.B. Beschaffung und Einsatz von Behältern und Sammelfahrzeugen.

Die Aufgaben des Jointventures sind in der Abb. 44 zu sehen. Zunächst werden die Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten für die Abfallentsorgung von der Firma festgelegt. Anschließend werden notwendige Gesetze für den umweltverträglichen Umgang mit den Industrieabfällen erarbeitet und erlassen.

Die Firma soll den Betrieben je nach Bedarf Behälter und Container in verschiedenen Größen bereitstellen. Hierzu müssen alle Arten (feste und flüssige Abfälle, schlammartige Abfälle, usw.) von geeigneten Sammelbehältern beschafft werden. Die Firma soll auch ein Abfallwirtschaftszentrum errichten, in das sämtliche Abfälle der Industrie-City transportiert werden. Je nach Abfallart und Abfallmenge wird dort die Entscheidung der weiteren Behandlung vorgenommen. Die Abfälle können dann an die richtige Verwertungs- oder Behandlungsanlage weitergegeben werden. Weiter übernimmt die Firma die Überwachung der Betriebe durch Kontrollen, sowie bei Nichteinhaltung der Gesetze die Warnung, Bestrafung und Durchsetzung einer Stilllegung von Betrieben. Nachdem jeder Betrieb in der Industrie-City ein eigenes betriebliches Abfallwirtschaftskonzept der Firma vorgelegt hat, wird von der Firma ein umfassendes Abfallwirtschaftskonzept sowie eine Abfallbilanz für das gesamte Industriegebiet erarbeitet. Danach kann die Firma ihre Konzepte verbessern und entwickeln. Schließlich übernimmt die Firma die Ausbildung der Betriebe im Bereich der Abfallwirtschaft, um das Bewusstsein für den Umgang mit den Abfällen zu verbessern. Außerdem erforscht und entwickelt sie die neuen Verfahren und Behandlungsmethoden für Industrieabfälle.

## 9 Zusammenfassung und Ausblick

Die syrische Regierung hat in den letzten Jahren 4 Industrie-Cities in den Hauptregionen Damaskus, Aleppo, Homs und Der Al-Zour gegründet und teilweise realisiert. Diese Industrie-Cities gehören zu den wichtigsten Ereignissen in der Industrialisierung des Landes „Syrien“. Dadurch konnte in den letzten Jahren ca. 100.000 Arbeitsplätze geschaffen werden. Es wurden umfangreiche Investitionen getätigt, was das Land nach vorne gebracht hat. In Aleppo befindet sich eine dieser „Cities“ mit einer Größe von 4.412 Hektar und insgesamt 400 Produktionsbetrieben. Weitere 1505 Betriebe sind in Planung. Zu den Hauptindustriezweigen der „City“ gehören die Lebensmittel- und Textilindustrie sowie die chemische, verarbeitende und produzierende Industrie. Das wesentliche Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung eines Abfallwirtschaftskonzeptes, welches verschiedene Strategien zum umweltverträglichen Umgang mit den Industrieabfällen beinhaltet. Die gewonnenen Daten und Ergebnisse der durchgeführten Analysen und Untersuchungen bilden die Grundlage zum Aufbau eines funktionierenden Abfallwirtschaftssystems und zur Entwicklung von Behandlungs- und Entsorgungsstrategien für relevante Stoffströme aus den Industriebranchen. Die Untersuchungen gliedern sich in einen theoretischen und einen praktischen Abschnitt und lassen sich in drei verschiedene Phasen unterteilen.

In der ersten Untersuchungsphase wurde eine Analyse der aktuellen Abfallwirtschaftssituation vorgenommen. Die rechtlichen Vorgaben sind nicht ausreichend, um eingeordnete Abfallentsorgung zu gewährleisten. Dem umweltgerechten Umgang mit den Industrieabfällen stehen verschiedene Probleme und Schwachstellen gegenüber. Diese betreffen sowohl mangelhafte technische und finanzielle Ausstattungen, als auch fehlende gesetzliche und organisatorische Rahmenbedingungen. Die Betriebinhaber tragen keine Verantwortung für die Entsorgung der von ihnen anfallenden Abfälle. Weiterhin reichen die Abfallgebühren nicht für alle Entsorgungsvorgänge aus und sie hängen nicht von der Abfallart und der -menge sowie der Behandlungsverfahren ab. Die anfallenden Industrieabfälle sind vielfältig und wurden gemischt erfasst und gesammelt. Darüber hinaus wurden alle Abfallarten in einer Deponie ohne Vorbehandlung abgelagert, was

eine Bedrohung für die Gesundheit der Bevölkerung und die natürlichen Ressourcen durch die Kontamination von Wasser, Boden und Luft verursachen kann.

Als zweite Phase wurden die Untersuchungen in der Textilindustrie bezeichnet. Im Textilbereich konnten sieben verschiedene Abfälle nach Art und Menge erfasst werden. Zur Charakterisierung der Textilreststoffe werden zunächst die Immediat- und Elementaranalyse sowie die kalorische Untersuchung (Brenn- und Heizwert) nach normierten Methoden (DIN-Normen) durchgeführt. Darauf folgte eine thermogravimetrische Analyse für die einzelnen Fraktionen. Weiterhin wurde das Verbrennungsverhalten der Textilabfälle auf dem Festbettreaktor (Chargenrost) untersucht und mittels Kennzahlen (die Reaktionsfrontgeschwindigkeit und Zündrate) quantitativ beschrieben. Abschließend wurde eine Untersuchung zur Wirtschaftlichkeit einer 6 MW Wirbelschicht-Kesselanlage für die Industriecity vorgenommen. Aus den zahlreichen Untersuchungen ergeben sich folgende Ergebnisse

- Die Textilabfälle weisen gute Brennstoffeigenschaften (hoher Heizwert 19-32 MJ/kg, geringerer Aschegehalt 1-10 % und vernachlässigbarer Chlorgehalt) auf.
- Durch die Pyrolyse der Textilreststoffe entsteht ein hoher Anteil an kondensierbaren Bestandteilen wie Teer und Öle (Anteil schwankt zwischen 54 und 75 %). Die energetische und stoffliche Verwertung dieser Stoffe befindet sich weltweit in der Forschungsphase. Da in Syrien die Pyrolyseöle und Teere sowohl stofflich als auch thermisch nicht verwertet werden können, kann das Pyrolyseverfahren in der Praxis nicht umgesetzt werden.
- Das Verbrennungsverhalten der Textilabfälle ist unterschiedlich und wird durch eine hohe Reaktionsfrontgeschwindigkeit bzw. Zündrate bestimmt. Dies kann zu einem entsprechend hohen Zünd- und Brennstoffumsatz am Rostanfang und dann bei ausreichend Sauerstoff zur Bildung der Flamme am Rostbeginn

führen, was Probleme und eine Instabilität des Verbrennungsprozesses verursachen kann.

- Unter identischen Versuchsbedingungen wird für die Bekleidereste im Vergleich zu den anderen Textilabfällen eine deutlich höhere Reaktionsfrontgeschwindigkeit ermittelt. Im Gegensatz dazu wird die niedrigste bei Gummibändern festgestellt. Je höher der Anteil der Bekleidereste in der Textilmischung (Monoverbrennung) ist, desto höher ist die Reaktivität des Brennstoffs. Weiterhin deuten die hohe Reaktionsfrontgeschwindigkeit und die Zündrate von Textilabfällen darauf hin, dass der Einsatz der Textilabfälle in einer Müllverbrennungsanlage (Mitverbrennung) auch die Reaktivität des Brennstoffs erhöhen kann. Dies kann aber bei einer konstanten Luftzuführung zur Beeinflussung der Misch-Anforderungen und Temperaturbedingungen in den primären und sekundären Brennraum der Rostfeuerung führen.
- Die experimentellen Verbrennungsergebnisse zeigten, dass die thermische Verwertung von Textilabfällen mit Ausnahme von Faserresten in einer Rostfeuerung problemlos realisierbar ist. Die Bildung einer Kunststoffplatte aus den Faserresten auf dem Rost bei der Verbrennung verursacht Probleme beim Anlagenbetrieb wie z.B. Verstopfung der Primärlufteintrittsöffnung. Aus diesem Grund besteht ein Bedarf an weiterer Forschung bzw. weiteren Untersuchungen zur thermischen Verwertung von Faserresten in einem anderen Verfahren wie z.B. „Wirbelschicht-Feuerung“.
- Zur Gewährleistung eines wirtschaftlichen Betriebs einer thermischen Behandlungsanlage in der Industrie-City müssen die vorhandenen Marktbedingungen (Wärmeabgabepreis 40 €/MWh und Entsorgungsgebühr 10 €/t) optimiert werden. Dafür empfiehlt es sich, die Entsorgungsgebühr auf 20 €/t zu erhöhen.

Die letzte Untersuchungsphase wurde im Bereich „Lebensmittelindustrie“ durchgeführt. Die anfallenden Abfälle der Lebensmittelindustrie sind organische Fraktionen, Klärschlämme der Kläranlagen und Bioabfälle. Im Rahmen der

Untersuchung wurden vier Versuche zur Kompostierung durchgeführt. Ziele der Untersuchung sind die Erzielung einer hohen Endproduktqualität durch die Kompostierung bestimmter organischer Materialien miteinander und die Erstellung von Rezepturen. Dafür wurden Endprodukte der Kompostierungsversuche mit Hilfe der Labore der LUFA-Rostock hinsichtlich der Inhalte auf Schwermetalle, Schadstoffe und Nährstoffe untersucht, die als Kriterien für die Beurteilung der Kompostqualität und der Anwendungsmöglichkeiten angesehen werden. Weiterhin werden die Biogasmenge und die Methangehalte für drei verschiedene Rückstände aus der Getreideproduktion durch eine Vergärung in der Batch-Versuchsanlage ermittelt. Mittels der aus den Vergärungsversuchen gewonnen Ergebnisse lässt sich eine Wirtschaftlichkeit berechnen und damit eine Aussage über eine mögliche Errichtung einer Biogasanlage in Syrien geben. Es kann Folgendes zusammenfassend festgestellt werden:

- Aus den organischen Stoffen der Lebensmittelindustrie kann eine hohe Kompostqualität durch das Einsetzen bestimmter organischer Stoffe im Inputmaterial erreicht werden.
- Die beste Kompostqualität wird durch die Mischung von Bioabfällen und Getreiderückständen erreicht. Hierbei zeigen die Analysewerte, dass die untersuchten Parameter der Komposte hinsichtlich der Inhalte auf Schwermetalle unter den Grenzwerten der deutschen Bioabfallverordnung liegen.
- Eine deutliche Erhöhung des Kupfergehalts wurde bei den Versuchen 3 und 4 beobachtet. Dies ist auf den Einsatz von Weizenschlamm im Inputmaterial zurückzuführen. Um die Ursache für die Erhöhung des Kupfergehalts festzustellen, ist die elementare Analyse des Ausgangsmaterials in den Versuchen 3 und 4 erforderlich.
- Ein nährstoffarmer Kompost entstand durch die Kompostierung der Getreiderückstände mit Molkerei-Schlamm. Im diesem Fall kann das Endprodukt als Bodenhilfsmittel genutzt werden.



- Dem Einsatz des aus den organischen Stoffen hergestellten Komposts als organische Düngemittel kommt aufgrund ungünstiger Verhältnisse des Humusgehaltes in den Böden insbesondere in einem Land wie Syrien ein hoher Stellenwert zu. Die Humusbilanz kann mit organischem Düngemittel (Kompost) verbessert werden. Im Verhältnis zu den mineralischen Düngern ist der Kompost wesentlich kostengünstiger verfügbar. Weiterhin können zum einen die nachhaltigen negativen Auswirkungen auf die Umwelt reduziert und zum anderen die entsprechenden Ablagerungskosten eingespart werden.
- Die untersuchten Getreiderückstände weisen einen geringeren Biogasertrag (durchschnittlich 355 l n/kg oTs) auf. Aufgrund der Wichtigkeit des Kompostes in Syrien empfiehlt es sich, die Getreiderückstände mit trockenen Verfahren zu vergären. Dadurch kann der Gärrest weiter verarbeitet und als organisches Düngemittel genutzt werden
- Unter Berücksichtigung syrischer Marktbedingungen sind Biogasanlagen für Vergärung der Getreiderückstände in Syrien nur mit Wärmeverkauf wirtschaftlich und sie sollten im Industriegebiet errichtet werden, da nur dort die Wärme ganzjährig genutzt werden kann. Sowohl kleine als auch große Biogasanlagen können mit „Nur- Stromverkauf“ in der Praxis in Syrien nicht umgesetzt werden.

In einem Folgeprojekt sind Langzeitanalysen in der Industrie-City durchzuführen, mit denen verlässliche Angaben zur Verfügbarkeit der insgesamt pro Jahr anfallenden Industrieabfälle erhalten werden können, um das Logistiksystem vernünftig aufzubauen. Des Weiteren besteht auch ein Bedarf an weiteren Untersuchungen im Wirbelschichtsystem. Dadurch kann man die Rostfeuerung mit dem Wirbelschichtsystem vergleichen und dann anhand der Untersuchungsergebnisse und der Vor- und Nachteile jedes Systems die Entscheidung für ein geeignetes thermisches Verfahren treffen. Außerdem soll die Analyse der Eigenschaften von Textilasche zur Festlegung der Verwertungsmöglichkeit durchgeführt werden.

## 10 Literatur

**Amlinger, F.; Peyr, S. ;Hildebrandt, U. ; Müsken, J. ; Cuhls, C. ; & Clemens, J. (2005):** Stand der Technik der Kompostierung : Grundlagestudie, Lebensministerium Österreich, 2005.

**Auswärtiges Amt, (2009):**

Länder, Reisen und Sicherheit:

<http://www.auswaertiges-amt.de/diplo/de/Laenderinformationen/01-Laender/Syrien.html>

[Stand 15.10.2009].

**Bauwat, G. (2006) :**

Einführung von Qualitätsmanagementsystemen in die Abfallwirtschaft in Syrien unter besonderer Berücksichtigung der Aus- und Weiterbildung. Dissertation  
Uni Rostock, 2006.

**Berghoff, R. (1981) :**

Zur Pyrolyse häuslicher Abfälle : Energie- und. Stoffbilanzen, Möglichkeiten derSchadstoffreduzierung, Verfahrensvorschläge. Aachen: Ges. zur Förderung d. Siedlungswasserwirtschaft an der. RWTH, 1981.

**Beu, J. (2003):**

Abfallentsorgung in Damaskus“ Analyse und Empfehlungen, Universität Rostock, 2003.

**Bilitewski, B. (2004):**

Die Bedeutung der anaeroben Verfahren in Deutschland *In 4. Fortschrittsbericht Anaerobe biologische Abfallbehandlung : neue Entwicklungen.*Eigenverlag des Forums für Abfallwirtschaft und Altlasten e.V, 2004.

**Bilitewski, B.; Härdtle, G. W. ;& Marek, K. A. (2000):**

Abfallwirtschaft : Handbuch für Praxis und Lehre ; mit 130 Tabellen. Berlin [u.a.] Springer, 2000.

**Bilitewski, B.; Härdtle, G.; Marek, K. (1991):**

Abfallwirtschaft : eine Einführung. Zweiter korrigierter Nachdruck . Berlin [u.a.] : Springer, 1991.

**Binger, Doris. (1994) :**

Das Echo vom Kleiderberg, Mode Ökologie. Wege einer sinnvollen Verbindung.  
Frankfurt am Main : Dt. Fachverl, 1994.

**Bioabfallverordnung- BioAbfV (1998):**

Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich,  
forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden (Bioabfallverordnung - BioAbfV),  
Vom 21. September 1998.

**Brandt, F. (1999) :**

Brennstoffe und Verbrennungsrechnung. Essen : Vulkan-Verl., 1999.

**Bruns, K. (1997):**

Analyse und Beurteilung von Entsorgungslogistiksystemen: ökonomische, ökologische  
und gesellschaftliche Aspekte. Wiesbaden : Dt. Univ.-Verl. [u.a.], 1997.

**Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) 2004:**

Beitrag der Abfallwirtschaft zur nachhaltigen Entwicklung in Deutschland :Teil  
Siedlungsabfall in Zeitschrift "Umwelt" Nr. 10/2004 . onlin im Internet  
[http://www.umweltbundesamt.de/abfallwirtschaft/sonderabfall/dokumente/13ifeu\\_nachhaltige\\_abfallw\\_sonderteil\\_umwelt.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/abfallwirtschaft/sonderabfall/dokumente/13ifeu_nachhaltige_abfallw_sonderteil_umwelt.pdf) [Stand: 20.04.2009]

**Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 2009**

: Abfallwirtschaft : Kurzinfo. onlin im Internet

<http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/kurzinfo/doc/3981.php> [Stand: 20.05.2009]

**Cantner, J. (1997) :**

Die Kostenrechnung als Instrument der staatlichen Preisregulierung in der  
Abfallwirtschaft. Heidelberg : Physica, 1997.

**Cerajewski, J. (1995):**

Biogasaufbereitung und –nutzung *In Biologische Abfallbehandlung. Berlin :EF-Verlag.  
für Energie- und Umwelttechnik*, 1995.

**Christ, O. (1993):**

Verfahren zur Bioabfallbehandlung Kompostierung -Vergärung *In Kompostierung von  
Bioabfällen: Seminar. München: Akad. Verl,1993.*

**Cleaner Production Germany, (2009):**

Technologiebereiche, Abfalltechnik <http://www.cleaner-production.de>

[Stand 08.10.2009]

**Cord-Landwehr, K. (1994):**

Einführung in die Abfallwirtschaft : mit 63 Tafeln und zahlreichen Beispielen. Stuttgart : Teubner, 1994.

**Cord-Landwehr, K. (2000):**

Einführung in die Abfallwirtschaft : mit 95 Tafeln und zahlreichen Beispielen . Stuttgart [u.a.]: Teubner, 2000.

**Degener, P. (2000):**

Ecological Desirable Disposal and Exploitation of Solid Waste for Latakia City – Syrian Arabian Republic. Universität Rostock, Feb. 2000.

**Dellweg, H. (1987):**

Biotechnologie : Grundlagen und Verfahren . Weinheim [u.a.] : VCH, 1987.

**DIHK (Der Deutsche Industrie- und Handelskammertag), (2009):**

Wirtschaftsbericht Syrien:

[www.dihk.de/eic/downloads/Wirtschaftsbericht\\_Syrien\\_2002.doc](http://www.dihk.de/eic/downloads/Wirtschaftsbericht_Syrien_2002.doc) [Stand 15.10.2009]

**Dirks, E. (2000):**

Praxishandbuch Abfallverbrennung: Technik und Betrieb thermischer Behandlungsverfahren; 33 Tabellen. Emden : Herrentor-Fachbuchverl., 2000.

**Doedens, H. (2002):**

Abfallsammlung /Abfalltransport *In Abfallwirtschaft und Bodenschutz*.Berlin [u.a.] : Springer, 2002.

**Edelmann, W . ; Engeli, H. (1996):**

Biogas aus festen Abfällen und Industrieabwässern : Eckdaten für Planerinnen. Bern : Bundesamt für Konjunkturfragen, 1996.

**Edelmann, W. (1996):**

Einflußgrößen auf den anaeroben Abbau-Stoffstrommanagement und Verfahrenswahl *In Biologische Abfallbehandlung ; 3Kompostierung, Anaerobtechnik, mechanisch-biologische Abfallbehandlung, Klärschlammverwertung* . Witzenhausen : Baeza, 1996.

**Edelmann, W.(2001) :**

Biogaserzeugung-und nutzung *In. Energie aus Biomasse : Grundlagen, Techniken und Verfahren ; mit 124 Tabellen.* Berlin [u.a.] : Springer, 2001.

**Emberger, J. (1993) :**

Kompostierung und Vergärung : Bioabfall, Pflanzenabfall, organische Produktionsrückstände .Würzburg : Vogel, 1993.

**Fischer, P. ; Jaron, A.;& Schulz, J. (2007) :**

Abfallwirtschaft in Deutschland : Motor für Jobs und Innovationen :  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin , 2007.

**Fritsch, K. (1996) :**

Das neue Kreislaufwirtschafts- und Abfallrecht .München : Beck, 1996

**Fritz, T.; Banemann, D.; Engler, N.; Nelles, M.; & Fricke, K. (2007):**

Möglichkeiten und Grenzen zur Bestimmung von Biogaserträgen aus Energiepflanzen nach VDI 4630 : *In Bioenergieland Mecklenburg-Vorpommern : 1. Rostocker Bioenergieforum ; [24. und 25. Oktober 2007] ; [Tagungsband] / Lehrstuhl Abfall- und Stoffstromwirtschaft, Universität Rostock.* Rostock : Univ., 2007.

**Funk, G. (2007) :**

Thermische Behandlung und Verwertung von Abfällen und Biomassen. Düsseldorf : VDI-Verl., 2007.

**Gallenkemper, B.; & Brunnert, M. (1994):**

Sammlung und Transport *In Abfallwirtschaft, Abfalltechnik* : Siedlungsabfälle. Berlin: Erns,1994.

**Gosch, A. (1993):**

Grundlagen und Anwendungsbereiche der Anaerobtechnik. *In : Biologische Abfallbehandlung ; [1]Kompostierung - Anaerobtechnik - kalte Vorbehandlung* : [5. Kasseler Abfallforum, Kassel, 20. - 22. April 1993]. Witzenhausen : Baeza, 1993.

**Gottschall, R.; & Stöppler-Zimmer, H. (1993):**

Produktcharakterisierung und Erstellung von Anwendungsklassen bei Bio- und Grünkomposten *In: Biologische Abfallbehandlung [1]; Kompostierung - Anaerobtechnik - kalte Vorbehandlung : [5. Kasseler Abfallforum, Kassel, 20. - 22. April 1993].* Witzenhausen : Baeza, 1993.

**Grabbe, K. (1996):**

Grundlagen der Bioprozessführung bei der Kompostierung biogener Reststoffe und Ihre Relevanz zur Herstellung reproduzierbarer Kompostqualitäten *In : Biologische Abfallbehandlung ; 3 Kompostierung, Anaerobtechnik, mechanisch-biologische Abfallbehandlung, Klärschlammverwertung. Witzenhausen : Baeza, 1996.*

**Hansen, U. (1995):**

Einführung. *In: Entsorgungslogistik 3 ; Kreislaufwirtschaft .* Berlin : Schmidt, 1995.

**Hansen, U.;& Sommer, M. (1993):**

Informations-und Dispositionssysteme *In: Entsorgungslogistik 2 Entwicklung und Bewertung neuer Konzepte und Technologien.* Berlin : Schmidt, 1993.

**Hermann, T.; Karsten, N.;Pant, R.;Plickert S.;& Thrän, D. (1997):**

Einführung in die Abfallwirtschaft : Technik, Recht und Politik. Thun [u.a.] : Deutsch, 1997.

**Holzhauer, R. (1991):**

Transport und Förderung *In: Entsorgungslogistik Grundlagen, Stand der Technik. Berlin : Schmidt, 1991.*

**Horttanainen, M. V. A.; Saastamoinen , J. J.; Sarkomaa , P. J. (2000):**

Ignition Front Propagation in Packed Bed of Wood Particles. *IFRF Combustion Journal*, Article No. 200003, May 2000.

**Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (2004):**

Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Gülzow : Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2004.

**Jansen, R.;Berken, M.; & Kötter, U. (1998):**

Handbuch Entsorgungslogistik : Möglichkeiten und Grenzen der Abfallvermeidung, -verwertung und -beseitigung. Frankfurt am Main : Dt. Fachverl., 1998.

**Joos , Franz. (2006) :**

Technische Verbrennung Verbrennungstechnik Verbrennungsmodellierung, Emissionen. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.

**Kaltschmitt, M. (2001) :**

Energie aus Biomasse : Grundlagen, Techniken und Verfahren ; mit 124 Tabellen. Berlin [u.a.] : Springer, 2001.

**Kehres , H. ; Vogtmann, H. (1990 ):**

Einfluss von Kompostrohstoffen und Verfahrenstechnik auf die Qualität erzeugter Komposte *In: Grundlagen der Kompostierung. Berlin : EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik, 1990.*

**Kehres, B. (2000):**

Qualität von Kompost aus Bio-Garten-und Parkabfällen *In: Biologische Abfallverwertung : 96 Tabellen. Stuttgart (Hohenheim) : Ulmer, 2000.*

**Knoll, M.;& Willmann, F. (1994):**

Systeme zur Erfassung von Verwertbaren Bestandteilen und Problemstoffen aus Siedlungsabfällen *In: Abfallwirtschaft, Abfalltechnik : Siedlungsabfälle. Berlin : Ernst, 1994.*

**Koch, H.-J.; & Reese, M. (2002) :**

Getrennthaltung und Überlassung von Abfällen zur Beseitigung aus Gewerbebetrieben :über die Grundprinzipien der dualen Entsorgungsordnung. Berlin : Erich Schmidt, 2002.

**Kolb, T .;Weber, T.; Gehrman, H-J.; Bleckwehl, S .;Helmut, S. (2009):**

Thermische Verwertung und brennstofftechnische Charakterisierung von Ersatzbrennstoffen in Rostsystemen :Institut für technische Chemie /bereich thermische Abfallbehandlung .Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, onlin im Internet : [http://www.fzk.de/fzk/groups/itc-tab/documents/internetdokument/id\\_057061.pdf](http://www.fzk.de/fzk/groups/itc-tab/documents/internetdokument/id_057061.pdf)  
[Stand: 20.07.2009]

**Köller, H. v. (1990):**

Leitfaden Abfallrecht : ein Ratgeber für Betriebsbeauftragte für Abfall, Entsorger und Verwaltung ; mit allen Bundesgesetz- und -verordnungstexten, auch zur Abfallvermeidung und Abfallverwertung. Berlin : Erich Schmidt, 1990.

**Köller, H. v. (1993) :**

Leitfaden Abfallrecht : ein Ratgeber für Betriebsbeauftragte für Abfall, Entsorger und Verwaltung (Abfallberater) ; mit den Texten aller Bundesgesetze, Verordnungen und allgemeinen Verwaltungsvorschriften .Berlin : Schmidt,1993.

**Köller, H. v. (1996):**

Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz : Textausgabe mit Erläuterungen. Berlin: Schmidt,1996.

**Kraft, E. (2001):**

Charakterisierung von Bioabfällen : Voraussetzung für die Optimierung des Kompostierungsprozesses .Berlin : Rhombos-Verl., 2001.

**Lechner, P.; Linzner, R.;Mostbauer, P. ; Binner, E. ; & Smidt, E. (2005) :**

Klimarelevanz der Kompostierung unter Berücksichtigung der Verfahrenstechnik und Kompostanwendung : Endbericht ;Im Auftrag Magistratsabteilung 48, Wien.onlin im Internet :[http://www.boku.ac.at/TCG/rol/KliKo\\_Endbericht.pdf](http://www.boku.ac.at/TCG/rol/KliKo_Endbericht.pdf). [Stand: 20.10.2009]

**Lemser, B. ; Maselli, J. ; Tillmann, A. ; & Decker, J. (1999):**

Betriebswirtschaftliche Grundlagen der öffentlichen Abfallwirtschaft. Berlin : Schmidt, 1999.

**Marktcheck, (2009):**

Clean Production: Wege in die Zukunft

<http://marktcheck.greenpeace.at/4369.html> [Stand 08.10.2009]

**Mediterranean Environmental Technical Assistance Project, METAP (2004):**

Regional Solid Waste Management Project: Current Situation Report, March 2004, Syrien.

**Miranda, R.; Sosa\_Blanco, C. ; Bustos-Martínez, D.; Vasile, C. (2007) :**

Pyrolysis of textile wastes I. Kinetics and yields. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis .Elsevier, Bd. 80.2007, 2, S. 489-495.

**Mohamad, A. (2002):**

Angepasste Abfallentsorgung für Schwellen und Entwicklungsländer, Dissertation 2002, Uni-Kassel



**Molto, J.; Conesa, J. A.; Font, R.; & Martin-Gullon, I. (2005) :**

Organic Compounds Produced during the Thermal Decomposition of Cotton Fabrics. Environmental science & technology, Bd. 39.2005, 14, S. 5141-5147.

**Morana, R. (2006) :**

Management von Closed-loop Supply Chains, Analyserahmen und Fallstudien aus dem Textilbereich :Deutscher Universitäts-Verlag | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2006.

**Nassour, A. (2004):**

Ansätze zur Reform der Abfallwirtschaft in Entwicklungsländern, Universität Rostock 2004.

**Nassour, A. (2005):**

Probevorlesung: Thema: Entwicklungsphasen der Abfallwirtschaft. (Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft) Universität Rostock, 04.11.2005

**Nassour, A.; Majanny, A.; Nelles, M. (2008) :**

Reformierung der Abfallwirtschaft in den arabischen Ländern *In :Müll und Abfall, Ausgabe 04/2008, Seite 188-196.*

**Nelles, M.; Nassour, A; Steinbrecht, D. (2009) :**

Dezentrale Verwertung von Ersatzbrennstoffen und heizwertreichen Sortierresten in Mecklenburg-Vorpommern, Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus, Abteilung 5 Energie, Immissionsschutz, Abfallwirtschaft.

**Neumann, U.; Schwarting, N. (1994):**

Biogas aus organischen Abfällen *In: Grundlagen und Verfahren der Anaerobtechnik 1 Auflage .Witzenhausen : Baeza, 1994.*

**Nöthe, M. (1999) :**

Abfall : Behandlung, Management, Rechtsgrundlagen .Weinheim [u.a.] : Wiley-VCH, 1999.

**Oetjen-Dehne, R. ; Tidden, F. (1993):**

Erfahrungen mit Anaerob-Verfahren im Rahmen der kalten Vorbehandlung von Abfällen *In Biologische Abfallbehandlung ; [1] Kompostierung - Anaerobtechnik - kalte Vorbehandlung : [5. Kasseler Abfallforum, Kassel, 20. - 22. April 1993] .Witzenhausen : Baeza, 1993.*

**Piehl, T.; & Süselbeck, G. (1998) :**

Abfall-Entsorgungs-Trainer : Grundlagen für die Schulung nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz. Hamburg : Storck, 1998.

**Rabanus, M. (1993):**

Der bundesrechtliche Abfallbegriff :zu den Aussagen insbesondere im Abfallgesetz und im Bundes-Immissionsschutzgesetz. Bochum : Brockmeyer, 1993.

**Rath, T. ; Majanny, A. ( 2008) :**

Vermittlung von theoretischem und prakti-schem Fachwissen in der Abfallwirtschaft für staatliche und privatwirtschaftliche Akteure der Abfallwirtschaft in der Region Aleppo (Syrien) und Sensibilisierung im umweltschonenden Umgang mit Ressourcen und Abfällen *In: .11. Dialog Abfallwirtschaft MV, Lehrstuhl Abfall- und Stoffstromwirtschaft, Universität Rostock, ISBN 978-3-86009-029-9, Band 09, Seiten 91-103, 2008.*

**Ryu, C.; Phan, A. N.; Sharifi, V. N.; & Swithenbank, J. (2007) :**

Combustion of textile residues in a packed bed. *Experimental thermal and fluid science.* Elsevier, Bd. 31.2007, 8, S. 887-896.

**Sattler, K.; & Emberger, J. (1992):**

Behandlung fester Abfälle : Vermeiden, Verwerten, Sammeln, Beseitigen, Sanieren ; Verfahrensweise - technische Realisierung - rechtliche Grundlagen. Würzburg : Vogel, 1992.

**Schattauer, A.; Weiland, P.(2004):**

Grundlagen der anaeroben Fermentation *In: Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung.* Gülzow : Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 2004.

**Scherer-Leydecker, Chr (2002):**

Kreislaufwirtschafts- und Abfallrecht *In: Abfallwirtschaft und Bodenschutz. Berlin [u.a.] : Springer, 2002.*

**Schnellbögl, J. (1991):**

Sammelverfahren in Kapitel 4:Aufgabengebiete der Entsorgung *.In: Entsorgungs-logistik 1:Grundlagen, Stand der Technik. Berlin : Schmidt, 1991.*

**Scholz, R. ; Beckmann, M. ; Schulenburg, F. (2001) :**

Abfallbehandlung in thermischen Verfahren : Verbrennung, Vergasung, Pyrolyse, Verfahrens- und Anlagenkonzepte . Stuttgart [u.a.] : Teubner, 2001.

**Scholz, R. ; Schulenburg, F.; & Beckmann, M. (1993) :**

Kriterien zur Beurteilung thermischer Behandlungsverfahren für Rückstände. VDI-Berichte.Düsseldorf,1993.

**Schöne, H. (1991):**

Rechtliche Rahmenbedingungen für die Entsorgung. In: *Entsorgungslogistik 1 : Grundlagen, Stand der Technik* .Berlin : Schmidt, 1991.

**Schulz, H.; Eder, B.; & Krieg, A. (2001):**

Biogas-Praxis : Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele.Staufen bei Freiburg : Ökobuch, 2001.

**Schulz, H.; Klingler, B. (1996):**

Biogas-Praxis : Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele. Staufen bei Freiburg : Ökobuch, 1996.

**Stadtmüller, U. (2004):**

Grundlagen der Bioabfallwirtschaft : Lehr- und Handbuch. Neuruppin : TK-Verl., 2004.

**Steinbrecht, D (2007[a]) :**

Vorlesungsmaterial : Abschnitt 1 - Technische Verbrennung - Emissionen - Verfahrenstechnische Berechnungen mit Verbrennungsabgasen, Universität Rostock, 2007.

**Steinbrecht, D (2007[b]):**

Umweltökonomie-Betriebswirtschaftliche Untersuchungen umwelttechnische Prozesse Vorlesungsmaterial, Universität Rostock, 2007.

**Stenum GmbH (2009):**

Unternehmensberatung und Forschungsgesellschaft für Umweltfragen  
<http://www.stenum.at/?id=produkte/cp/cp-basics> [Stand 08.10.2009].

**Stöppler-Zimmer, H.; Petersen, U.; & Gottschall, R. (2000):**

Anwendung und Vermarktung .In : Biologische Abfallverwertung : 96 Tabellen. Stuttgart (Hohenheim) : Ulmer, 2000.

**Tabasaran, O. (1994):**

Abfallwirtschaft, Abfalltechnik : Siedlungsabfälle. Berlin : Ernst, 1994.

**TAsi (1993) :**

Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen (Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz) vom 14. Mai 1993 (BAnz. Nr. 99a vom 29.05.1993).

**Thomé Kozmiensky, K. J. (1994):**

Kreislaufwirtschaft. Berlin : EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik, 1994

**Thomé-Kozmiensky, K. J. (1989):**

Sammlung, Umschlag, Transport von Abfällen. Berlin : EF-Verl. für Energie- u. Umwelttechnik, 1989.

**Thomé-Kozmiensky, K. J. (1995):**

Verfahren und Stoffe in der Kreislaufwirtschaft. Berlin: EF-Verl. für Energie- und Umwelttechnik, 1995.

**TRIVALOR-Studie (2004):**

Stand der Abfallwirtschaft in Syrien, 2004

**Umweltbundesamt (UBA )2009 ;**

Thema: Ressourcennutzung und Abfallwirtschaft ; Unterthema: Afall / Rohstoffproduktivität, Indikator: Ablagerungsquoten der Hauptabfallströme.

<http://www.umweltbundesamt-umwelt->

[deutschland.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=2896](http://www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=2896). [Stand 15.4.2009]

**VDI 4630 (2006):**

VDI-Richtlinie Vergärung organischer Stoffe, Handbuch Energietechnik; Verein deutscher Ingenieure (Hrsg.); Düsseldorf.

**Vodegel, S. (2004) :**

Abschlussbericht „Energetische Verwertung von Zuckerrübenschnitzeln und Melasse als CO<sub>2</sub> neutrale Brennstoffe in Zuckerfabriken “. Clausthal-Zellerfeld, 2004 .

**Wehking, K.-H (1996):**

Entsorgungslogistik als wesentlicher Bestandteil der zukünftigen Kreislaufwirtschaft. *In: UmweltWirtschaftsForum*, 4/1996.

**Weiland, P. (2000):**

Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und -erzeugung in Deutschland .*In : Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotenzial : Gülzower Fachgespräche Band 15; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 2000.*

**Weiland, P. (2001):**

Grundlagen der Methangärung - Biologie und Substrate. *In: Biogas als regenerative Energie - Stand und Perspektiven.*Düsseldorf : VDI-Verl., 2001.

**Wellinger, A . (1991):**

Biogas-Handbuch: Grundlagen, Planung, Betrieb landwirtschaftlicher Anlagen: 2.stark überarbeitete Auflage. Aarau : Wirz, 1991.

**Welt-blick, (2009):**

Landkarte Arabische Republik Syrien:<http://www.welt-blick.de/landkarte/syrien.html>  
[Stand 20.10.2009]

**Wickeren, H. v.; Buchholz, M.-P. (1995):**

Fachrichtung Abfall :Handbuch für Ver-und Entsorger, a. Auflage .München : Hirthammer, 1995.

**Würz, W. (2005 [b]):**

Abfallsammelbehälter.*In: Müll-Handbuch, Kennzahl 2130, Lieferung 11/98.*Berlin : Schmidt, 2005.

**Würz, W. (2005[a]):**

Verfahren zur Abfuhr von Abfällen, *In Müll-Handbuch, Kennzahl 2120, Lieferung 3/97: .Berlin: Schmidt, 2005.*

**Zachäus, D.(1995):**

Grundlagen des aeroben Stoffwechsels .*In: Biologische Abfallbehandlung.*Berlin : EF-Verlag. für Energie- und Umwelttechnik, 1995.

**Zelkowski, Jacke. (2004) :**

Kohlecharakterisierung und Kohleverbrennung. Essen: VGB TowerTech, 2004.

## 11 Anhang

### Anhangverzeichnis

Anhang A: Ergebnisse der Brennstoffeigenschaft bezogen auf verschiedene Zustände

Anhang B: Eigenschaften von Gas- Komponenten und Koeffizienten zur Berechnung der mittleren spezifischen Wärmekapazität

Anhang C: Versuchsergebnisse der thermogravimetrischen Analyse

Anhang D: Ergebnisse der Verbrennungsversuche auf dem Charginrost

Anhang E: Bilanzierung der Thermowaage

Anhang F: Bilanzierung der Charginrost-Versuchsanlage

Anhang G: Wirtschaftlichkeitsberechnungen

## Anhang A: Ergebnisse der Brennstoffeigenschaft bezogen auf verschiedene Zustände

Tabelle 1: Analysenergebnisse in verschiedenen Bezugszuständen

Brennstoffe / Textilabfälle			Fadenreste			Faserreste			Teppichreste		
Bezugszustände			i.an	i.wf	i.waf	i.an	i.wf	i.waf	i.an	i.wf	i.waf
Immediatanalyse	Sym-bol	Einheit									
Wassergehalt	FA	[%]	0.88			0.36			3.58		
Aschegehalt	A	[%]	0.38	0.38		2.24	2.25		3.51	3.64	
Flüchtige Bestandteile	F	[%]	81.26	81.98	82.30	85.91	86.22	88.20	86.08	89.28	92.65
Fixer Kohlenstoff	C <sub>fix</sub>	[%]	17.48	17.64	17.70	11.49	11.53	11.80	6.83	7.08	7.35
Elementanalyse											
Kohlenstoff	c	[%]	67.07	67.67	67.93	60.56	60.78	62.18	59.79	62.01	64.35
Wasserstoff	h	[%]	6.68	6.74	6.77	4.75	4.77	4.88	9.01	9.34	9.70
Sauerstoff	o	[%]	2.13	2.15	2.16	31.98	32.10	32.83	23.94	24.83	25.77
Stickstoff	n	[%]	22.41	22.61	22.70	0.02	0.02	0.02	0.11	0.11	0.12
Schwefel	s	[%]	0.44	0.44	0.45	0.08	0.08	0.08	0.05	0.05	0.05
Chlor	cl	[%]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Kalorische Daten											
Brennwert	Ho	[MJ/kg]	29.54	29.81	29.92	21.03	21.10	21.59	27.19	28.20	29.27
Heizwert	Hu	[MJ/kg]	28.07	28.34	28.45	19.98	20.06	20.52	25.14	26.16	27.15



Tabelle 2: Ergänzung der Analysenergebnisse in verschiedenen Bezugszuständen

Brennstoffe / Textilabfälle			Bekleidungsreste			Webstoffreste			Industrielles Gummiband			Normales Gummiband		
Bezugszustände			i.an	i.wf	i.waf	i.an	i.wf	i.waf	i.an	i.wf	i.waf	i.an	i.wf	i.waf
Immediatanalyse	Sym bol	Einheit												
Wassergehalt	FA	[%]	1.06			0.69			0.19			0.20		
Aschegehalt	A	[%]	0.92	0.93		0.13	0.13		9.41	9.43		8.06	8.08	
Flüchtige Bestandteile	F	[%]	89.47	90.43	91.28	73.39	73.90	74.00	87.96	88.13	97.30	85.55	85.72	93.25
Fixer Kohlenstoff	C <sub>fix</sub>	[%]	8.55	8.64	8.72	25.79	25.97	26.00	2.44	2.44	2.70	6.19	6.20	6.75
Elementanalyse														
Kohlenstoff	c	[%]	61.31	61.97	62.55	65.01	65.46	65.55	70.69	70.82	78.20	62.97	63.10	68.64
Wasserstoff	h	[%]	4.79	4.84	4.89	5.48	5.52	5.53	10.04	10.06	11.11	6.03	6.04	6.57
Sauerstoff	o	[%]	31.83	32.17	32.47	15.80	15.91	15.93	8.92	8.94	9.87	22.30	22.34	24.31
Stickstoff	n	[%]	0.05	0.05	0.05	12.62	12.71	12.72	0.19	0.19	0.21	0.07	0.07	0.08
Schwefel	s	[%]	0.02	0.02	0.02	0.26	0.26	0.26	0.55	0.55	0.61	0.36	0.36	0.39
Chlor	cl	[%]	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Kalorische Daten														
Brennwert	Ho	[MJ/kg]	22.35	22.59	22.80	26.59	26.77	26.81	34.64	34.70	38.31	25.86	25.91	28.19
Heizwert	Hu	[MJ/kg]	21.28	21.53	21.73	25.38	25.57	25.60	32.44	32.51	35.89	24.54	24.59	26.76

## Anhang B: Eigenschaften von Gas- Komponenten und Koeffi- zienten zur Berechnung der mittleren spezifischen Wärmekapazität

Tabelle 3: Eigenschaften von Gas-Komponenten, ( Quelle : Steinbrecht, 2007[a])

Bezeichnung		Formel	Molmasse	Dichte	Brenn- wert	Brenn- wert	Heizwert	Heizwert
Symbol			Mi	$\rho_{n,i}$	Ho	Ho	Hu	Hu
Einheit			kg/kmol	kg/m <sup>3</sup> (n)	kJ/kg	kJ/m <sup>3</sup> (n)	kJ/kg	kJ/m <sup>3</sup> (n)
Gas	Kohlenmonoxid	CO	28.010	1.25	10.103	12.633	10.103	12.633
	Wasserstoff	H2	2.0158	0.0899	141.8	12.475	119.972	10.783
	Methan	CH4	16.043	0.7168	55.498	39.819	50.013	35.883
	Kohlendioxid	CO2	44.01	1.9768	0	0	0	0
	Sauerstoff	O2	32.00	1.4290	0	0	0	0
	Schwefeldioxid	SO2	64.06	2.9263	0	0	0	0
	Stickstoff	N2	28.016	1.2505	0	0	0	0
	Wasserdampf	H2O	18.016	0.8050	0	0	0	0

Tabelle 4: Koeffizienten gemäß Gleichung 43 zur Berechnung der mittleren  
spezifischen Wärmekapazität ( Quelle: Steinbrecht, 2007[a])

Koeffizienten		A( 0 )	A( 1 )	A( 2 )	A( 3 )	A( 4 )
Gaskomponente i	NO	1,3001	2,73E-05	3,59E-07	-3,38E-10	9,97E-14
	NO <sub>2</sub>	1,6198	7,45E-04	-1,32E-07	-1,49E-10	6,52E-14
	SO <sub>2</sub>	1,7344	8,84E-04	-5,36E-07	1,71E-10	-2,18E-14
	O <sub>2</sub>	1,2997	1,96E-04	4,95E-09	-3,55E-11	8,59E-15
	CO <sub>2</sub>	1,6132	9,77E-04	-5,35E-07	1,74E-10	-2,45E-14
	CO	1,2937	4,70E-05	1,41E-07	-8,54E-11	1,47E-14
	CH <sub>4</sub>	1,545	1,01E-03	7,51E-07	-8,65E-10	2,53E-13
	H <sub>2</sub>	1,2784	5,96E-05	-4,63E-08	4,51E-11	-1,03E-14
	N <sub>2</sub>	1,2939	-5,00E-06	1,88E-07	-1,04E-10	1,73E-14

## Anhang C : Versuchsergebnisse der thermogravimetrischen Analyse

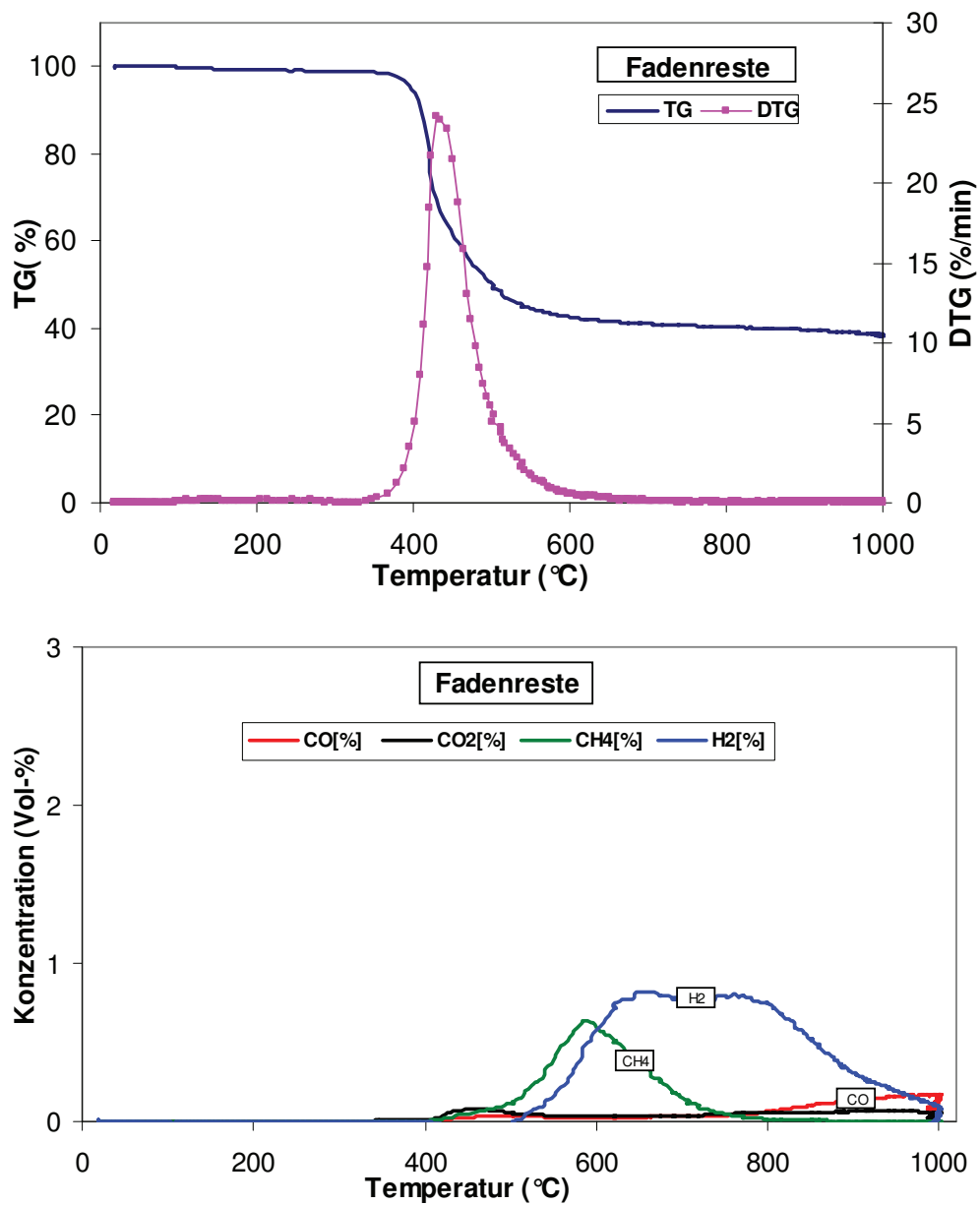


Abbildung 1: Ergebnisse aus Thermowaagenuntersuchungen zur Zersetzung von Fadenreste; TG/DTG-Kurven(oben) und Konzentration der Abgaskomponenten (unten ).

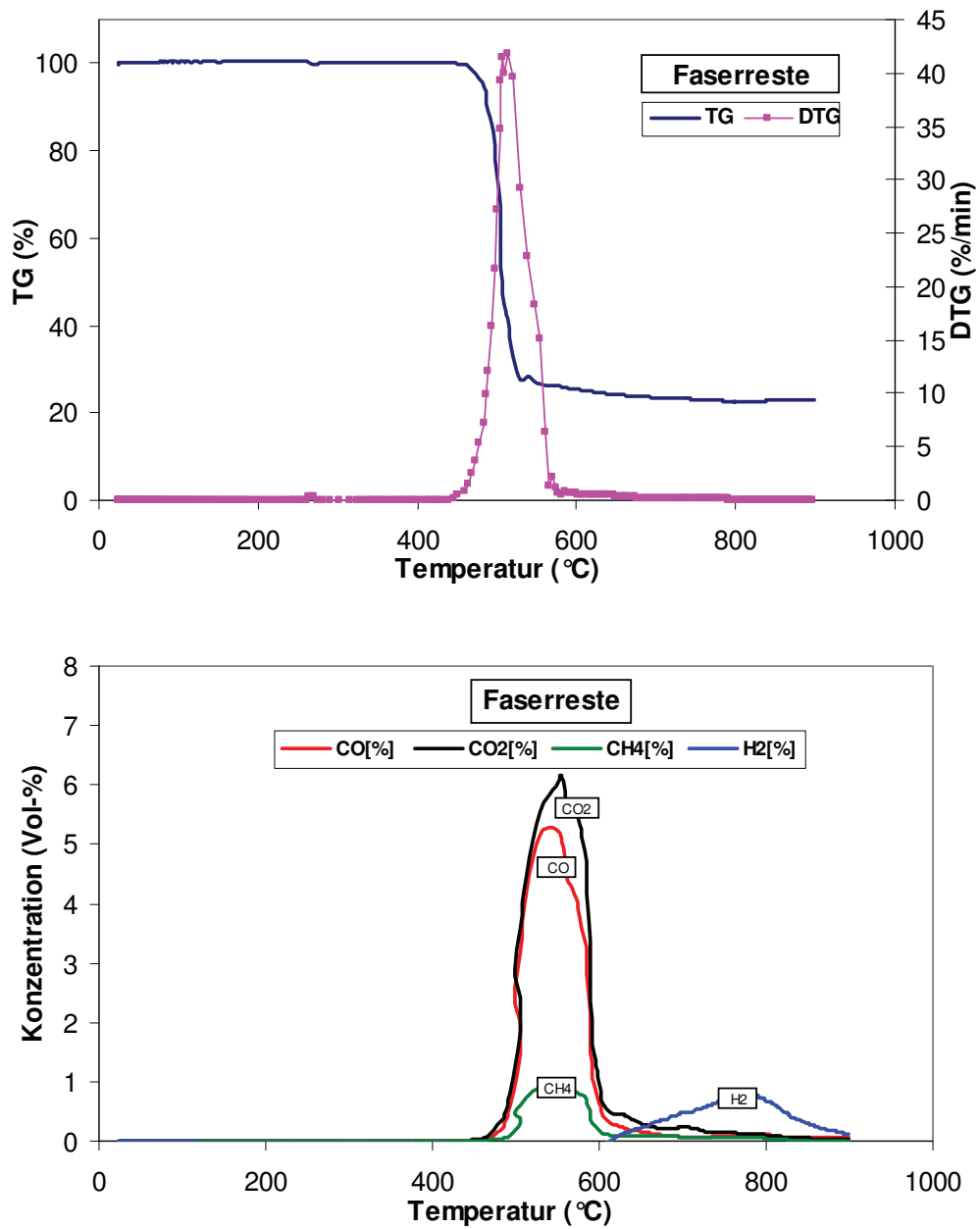


Abbildung 2 : Ergebnisse aus Thermowaagenuntersuchungen zur Zersetzung von Faserreste; TG/DTG-Kurven(oben) und Konzentration der Abgas-komponenten(unten ).

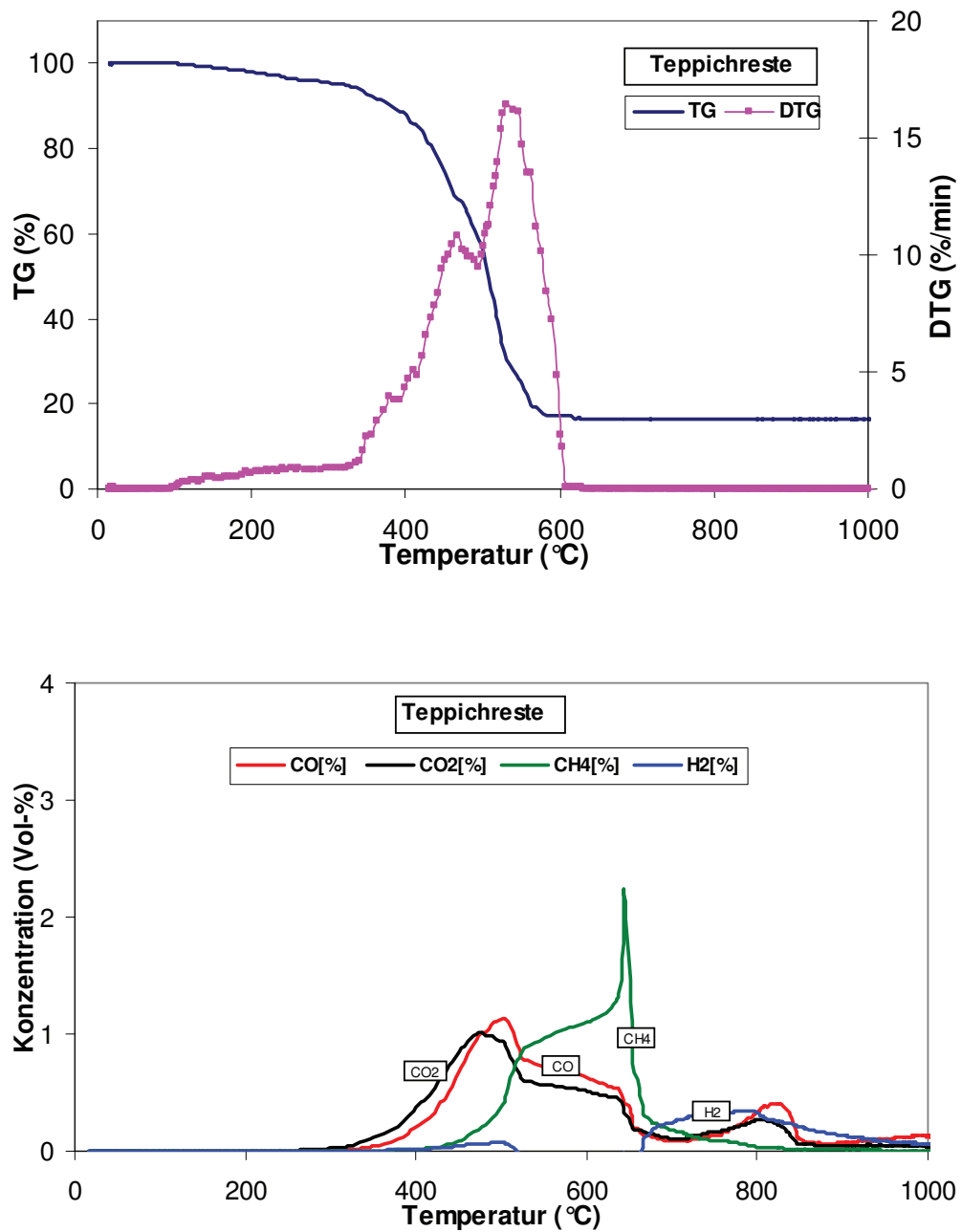


Abbildung 3: Ergebnisse aus Thermowaagenuntersuchungen zur Zersetzung von Teppichreste ; TG/DTG-Kurven(oben) und Konzentration der Abgas-komponenten(unten ).

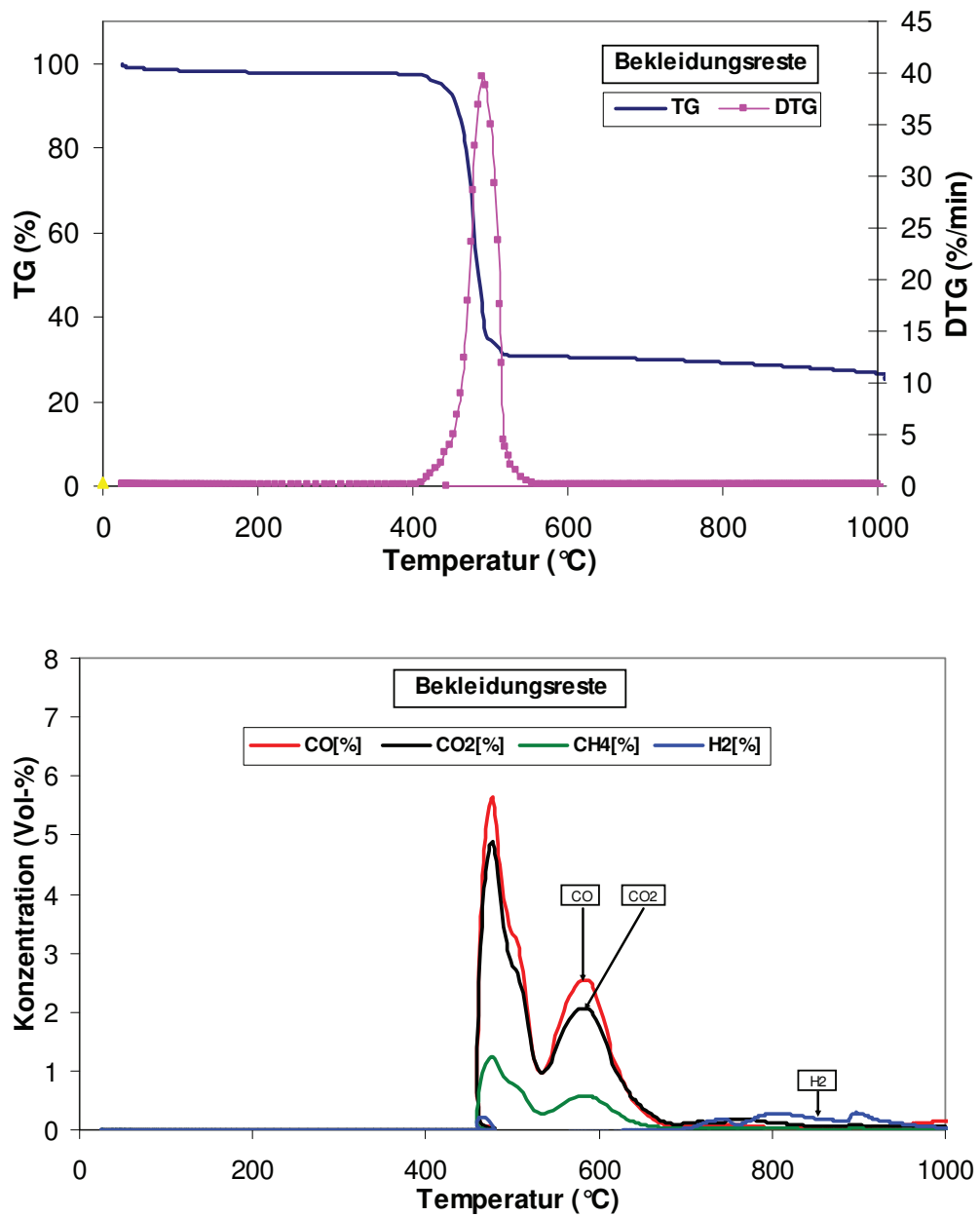


Abbildung 4: Ergebnisse aus Thermowaagenuntersuchungen zur Zersetzung von Bekleidungsreste ; TG/DTG-Kurven(oben) und Konzentration der Abgaskomponenten(unten ).

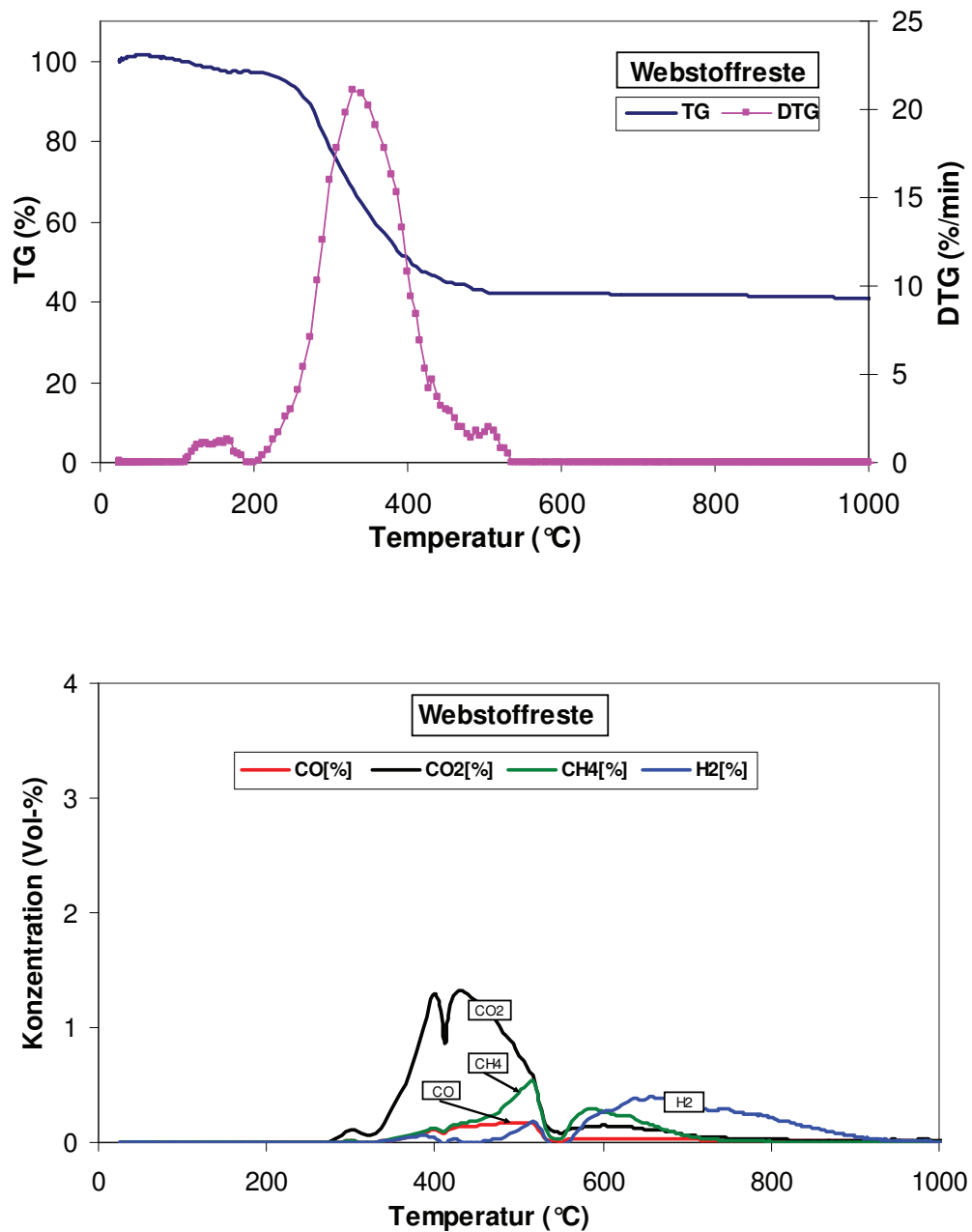


Abbildung 5 : Ergebnisse aus Thermowaagenuntersuchungen zur Zersetzung von Webstoffreste ; TG/DTG-Kurven(oben) und Konzentration der Abgaskomponenten(unten ).

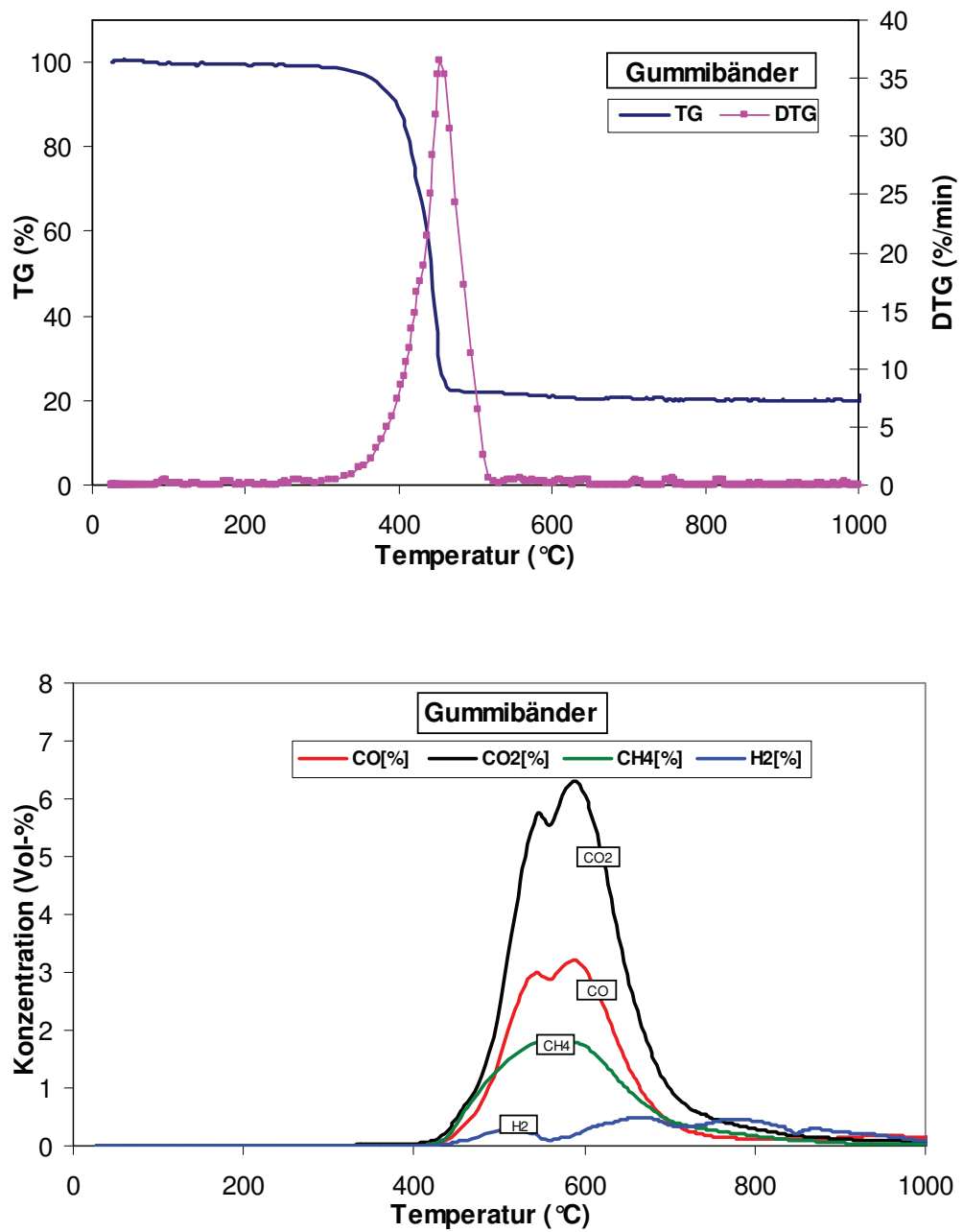


Abbildung 6 :Ergebnisse aus Thermowaagenuntersuchungen zur Zersetzung von Gummibänder ; TG/DTG-Kurven(oben) und Konzentration der Abgaskomponenten(unten ).



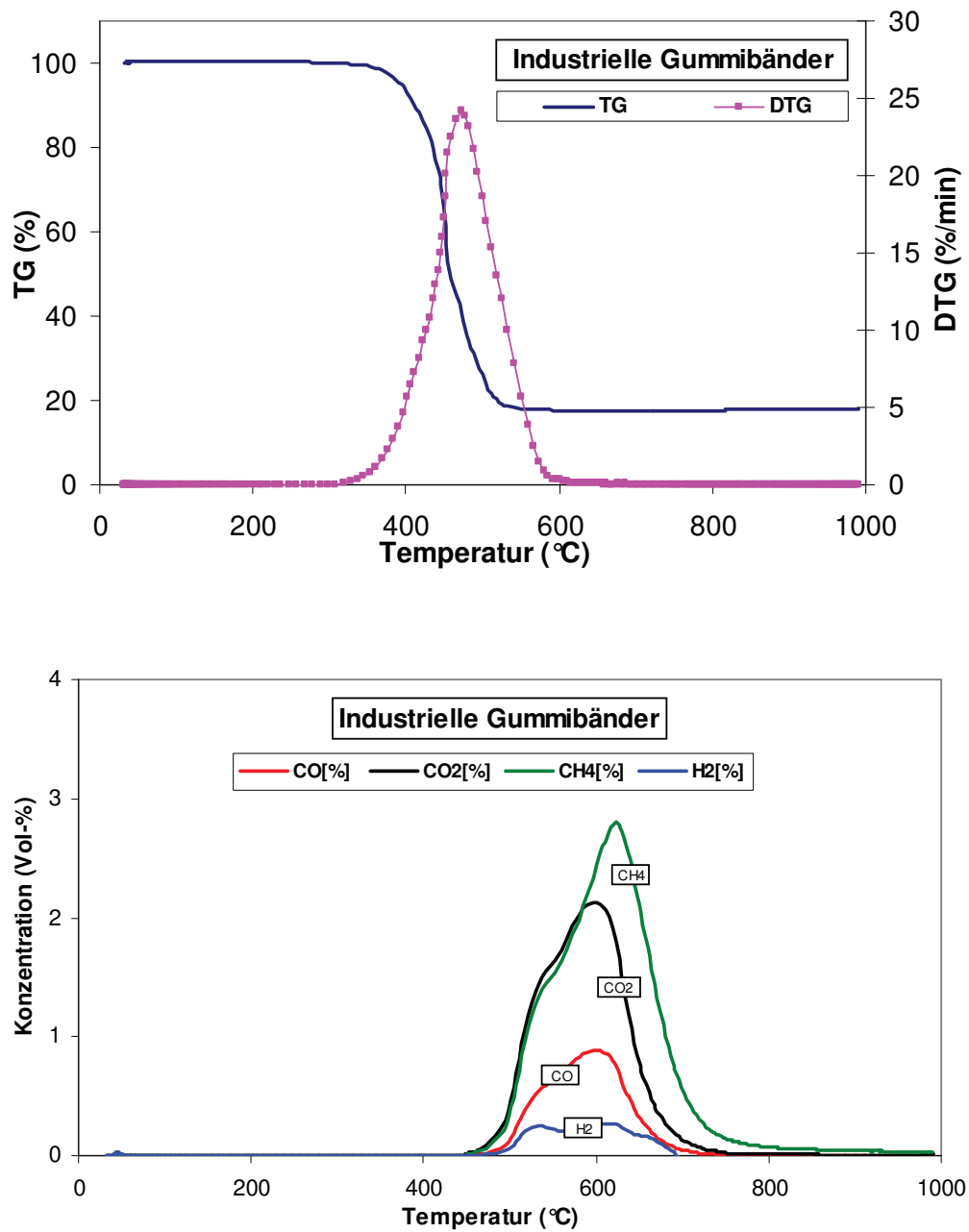


Abbildung 7: Ergebnisse aus Thermowaagenuntersuchungen zur Zersetzung von industriellen Gummibänder ; TG/DTG-Kurven(oben) und Konzentration der Abgaskomponenten(unten).

## Anhang D : Ergebnisse der Verbrennungsversuche auf dem Chargenrost

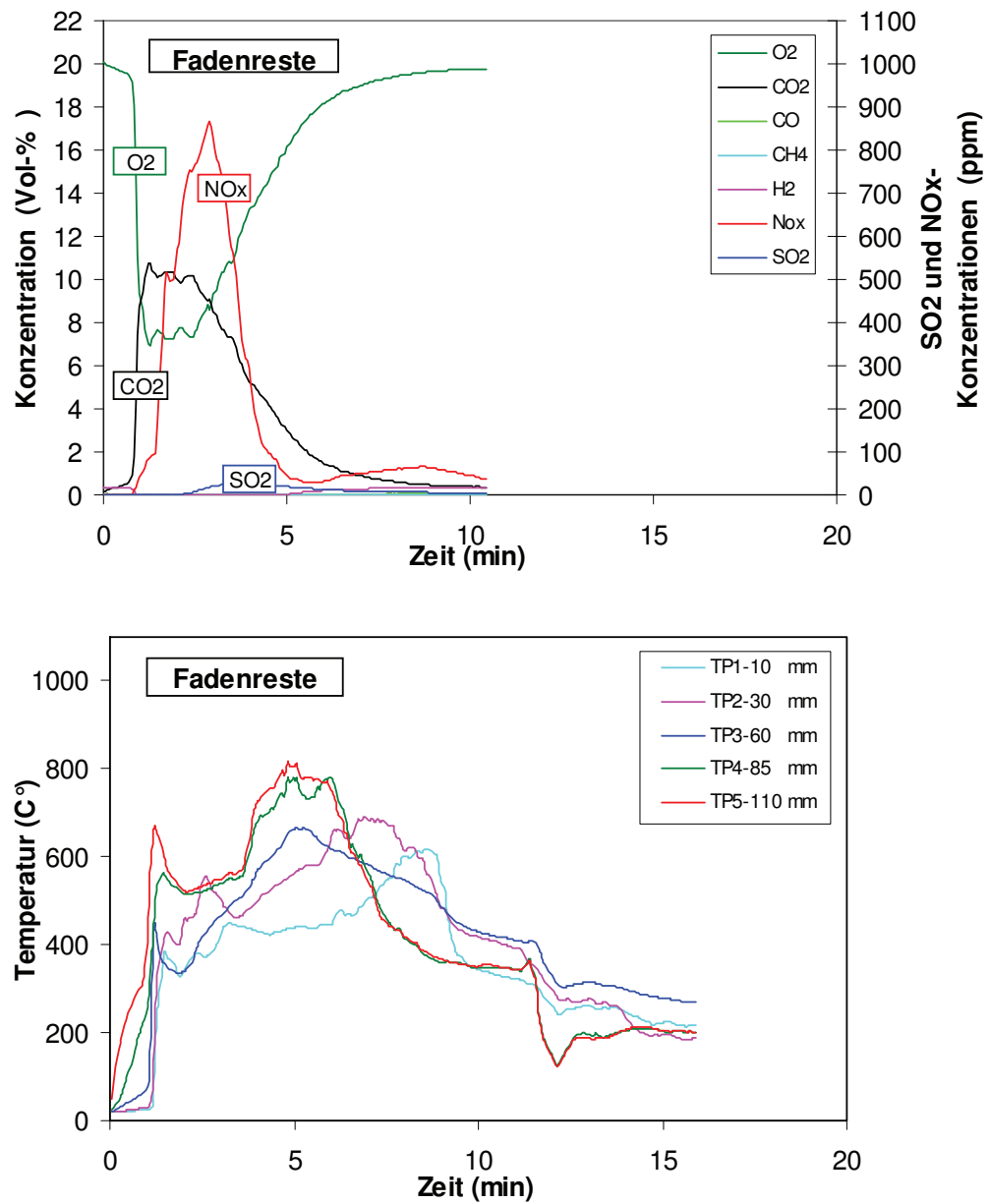


Abbildung 8 : Abgaskonzentrationen (oben) und Temperaturverlauf im Bett (unten) bei der Verbrennung der Fadenreste

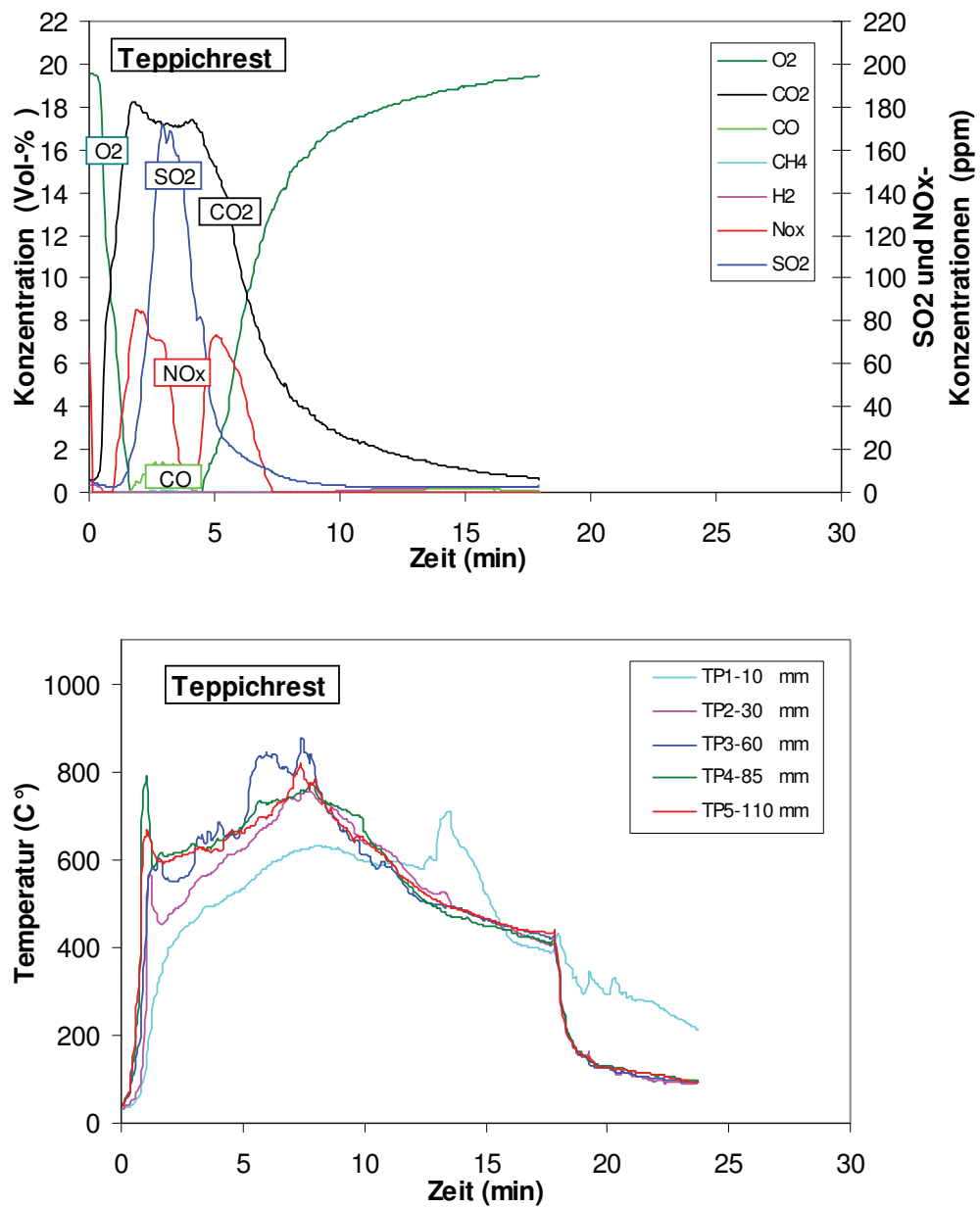


Abbildung 9 : Abgaskonzentrationen (oben) und Temperaturverlauf im Bett (unten) bei der Verbrennung der Teppichreste

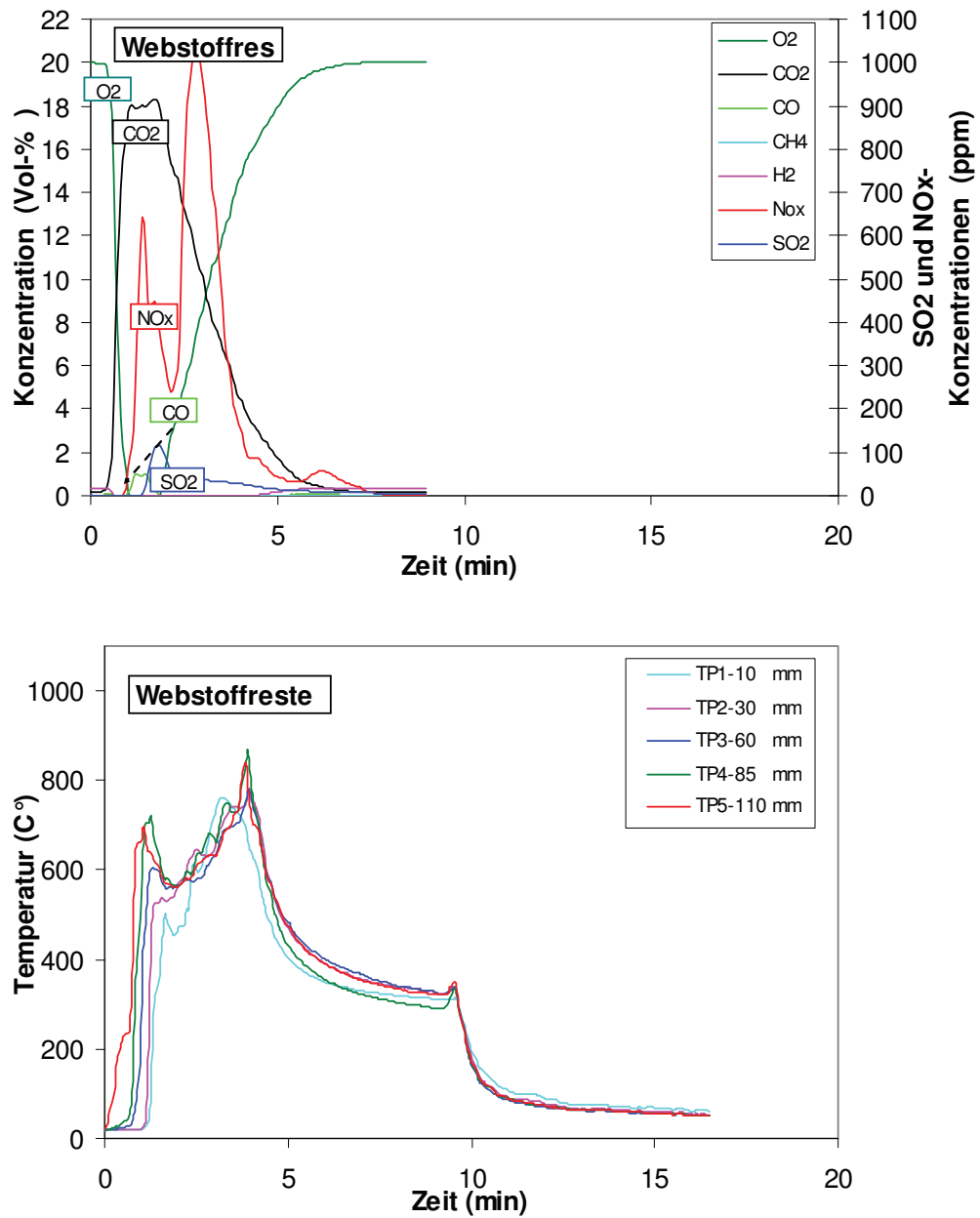


Abbildung 10 : Abgaskonzentrationen (oben) und Temperaturverlauf im Bett (unten) bei der Verbrennung der Webstoffreste

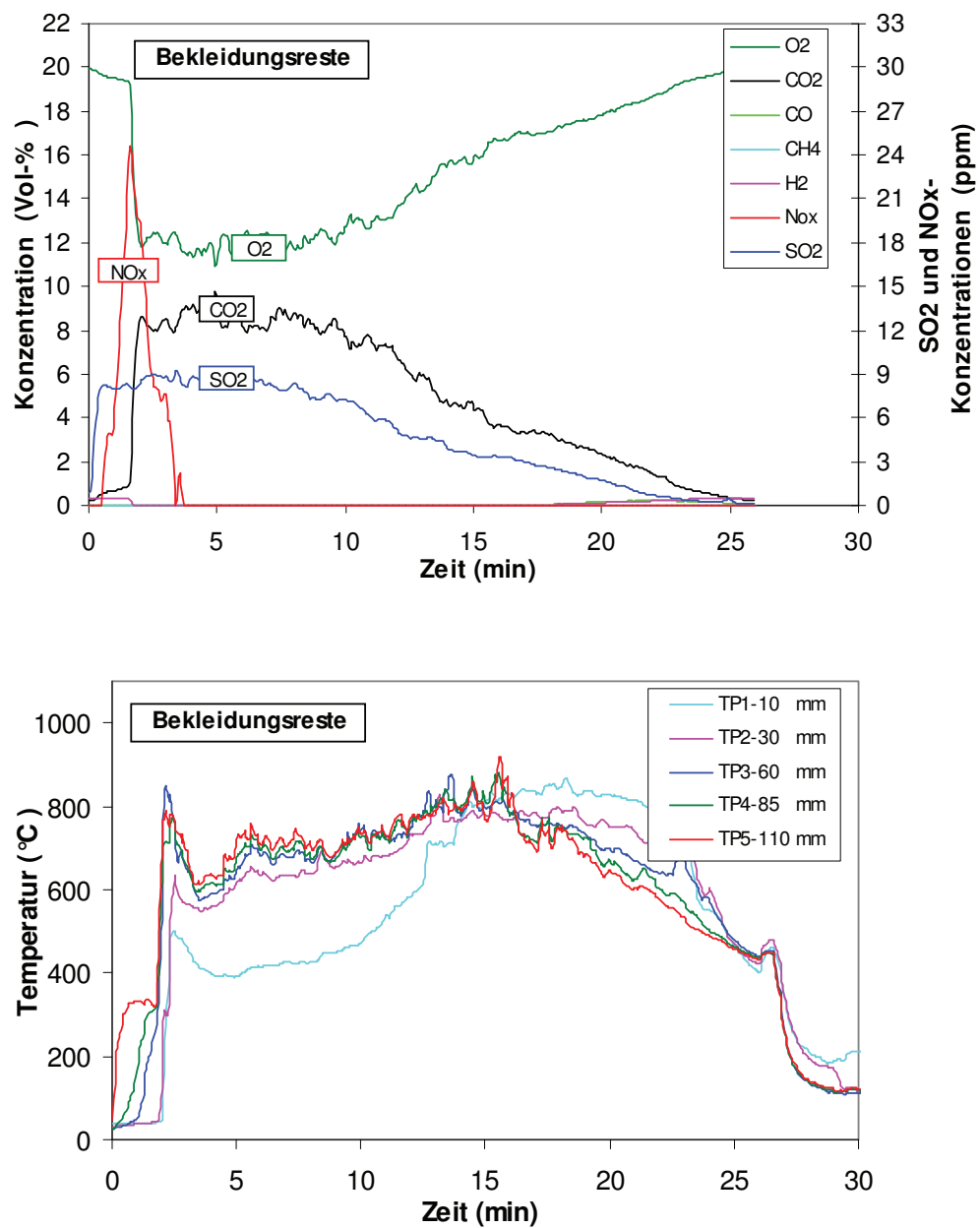


Abbildung 11 : Abgaskonzentrationen (oben) und Temperaturverlauf im Bett (unten) bei der Verbrennung der Bekleidungsreste

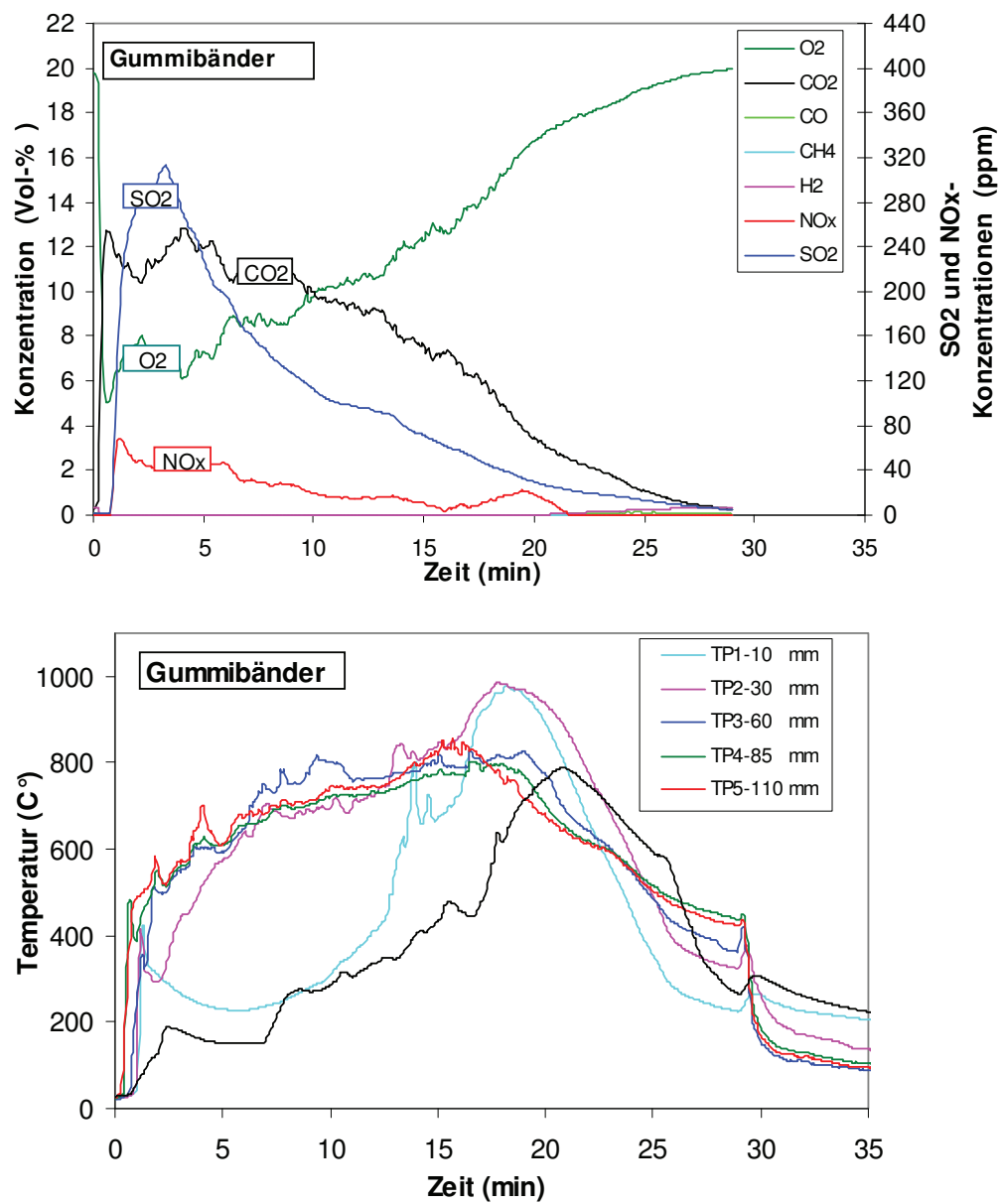


Abbildung 12 : Abgaskonzentrationen (oben) und Temperaturverlauf im Bett (unten) bei der Verbrennung der Gummibänder

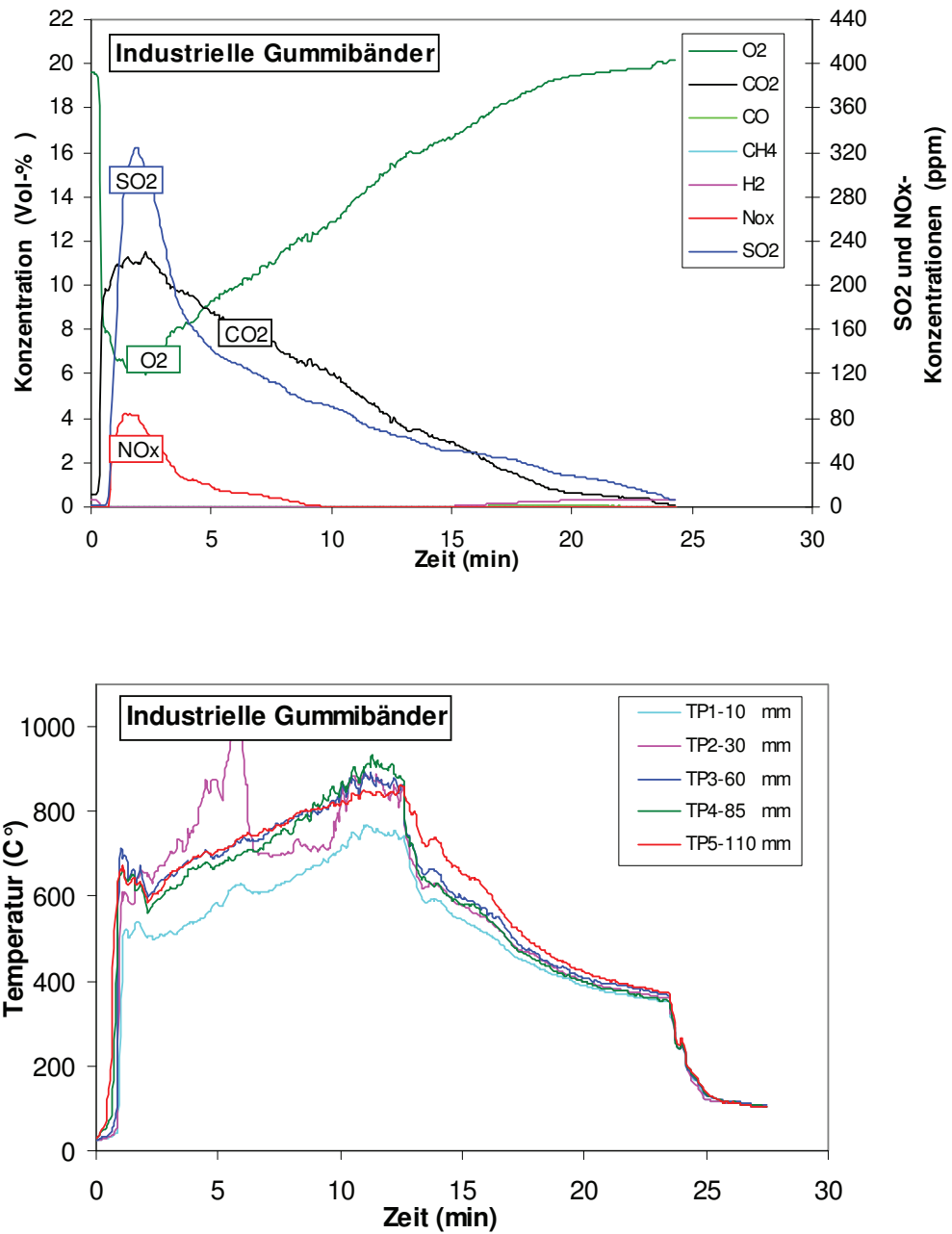


Abbildung 13 : Abgaskonzentrationen (oben) und Temperaturverlauf im Bett (unten) bei der Verbrennung der industriellen Gummibänder.

## Anhang E: Bilanzierung der Thermowaage

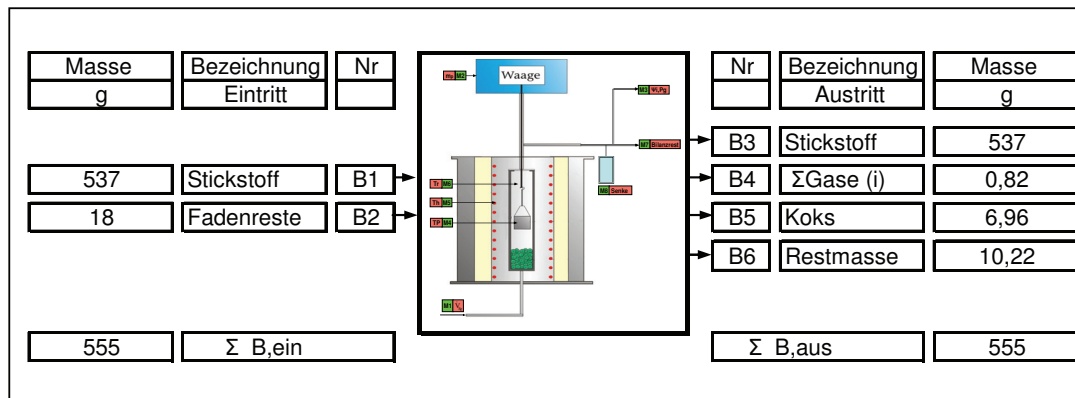


Abbildung 14 :Massenbilanz der Thermowaage für die Fadenreste

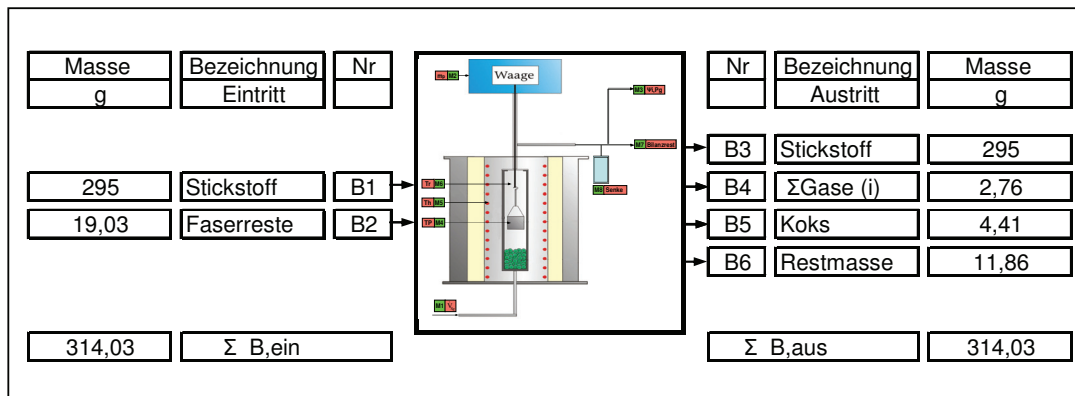


Abbildung 15 :Massenbilanz der Thermowaage für die Faserreste

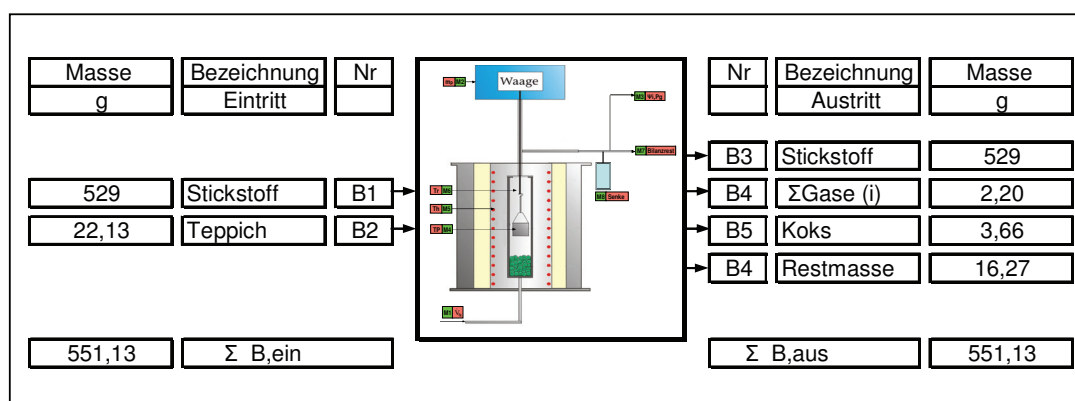


Abbildung 16 : Massenbilanz der Thermowaage für die Teppichreste



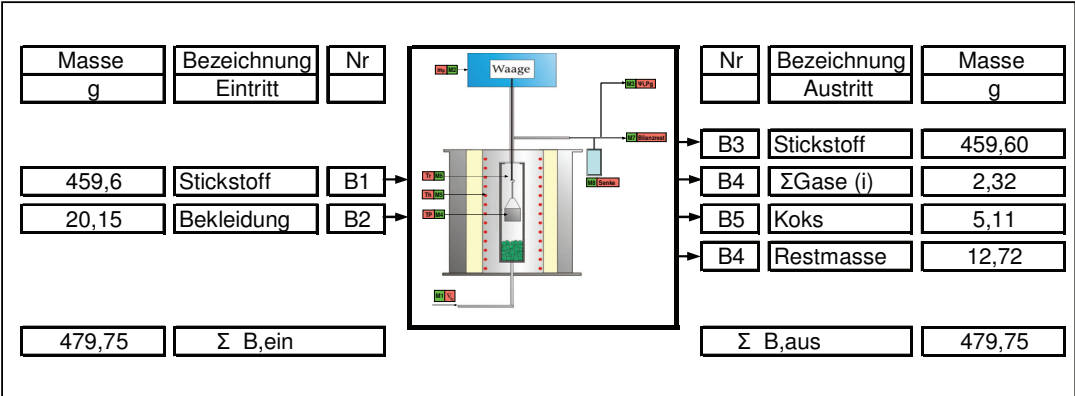


Abbildung 17 : Massenbilanz der Thermowaage für die Bekleidungsreste

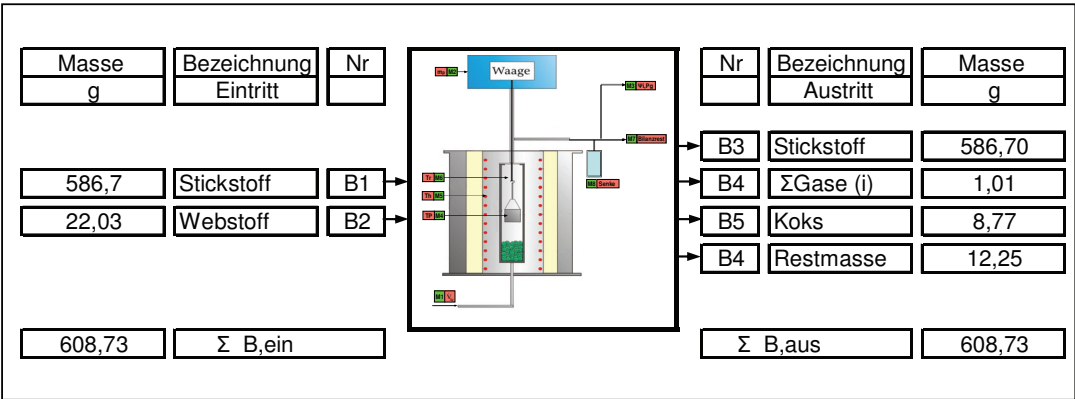


Abbildung 18:Massenbilanz der Thermowaage für die Webstoffreste

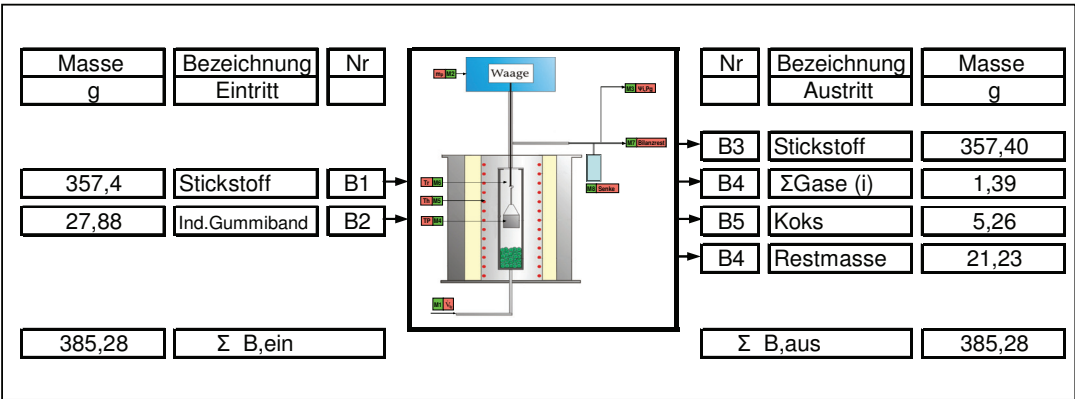


Abbildung 19 :Massenbilanz der Thermowaage für die Industriellen Gummibänder

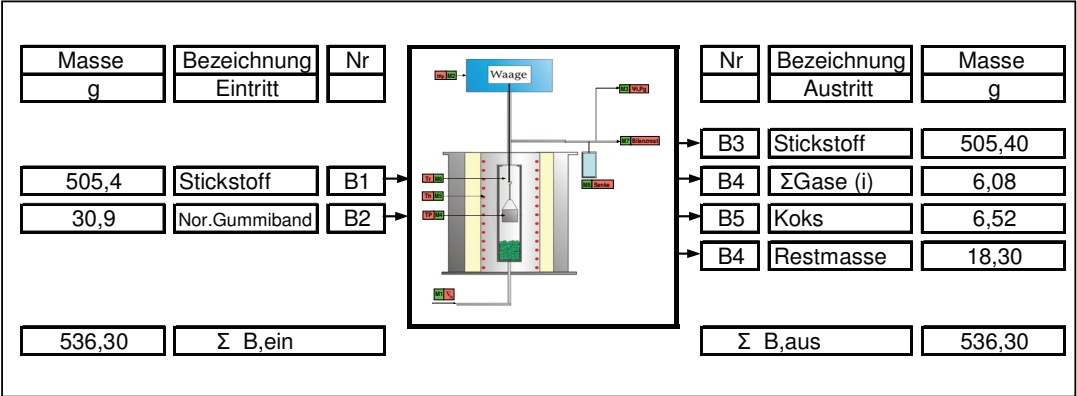


Abbildung 20 : Massenbilanz der Thermowaage für die normalen Gummibänder

Anhang F: Bilanzierung der Chargenrost-Versuchsanlage

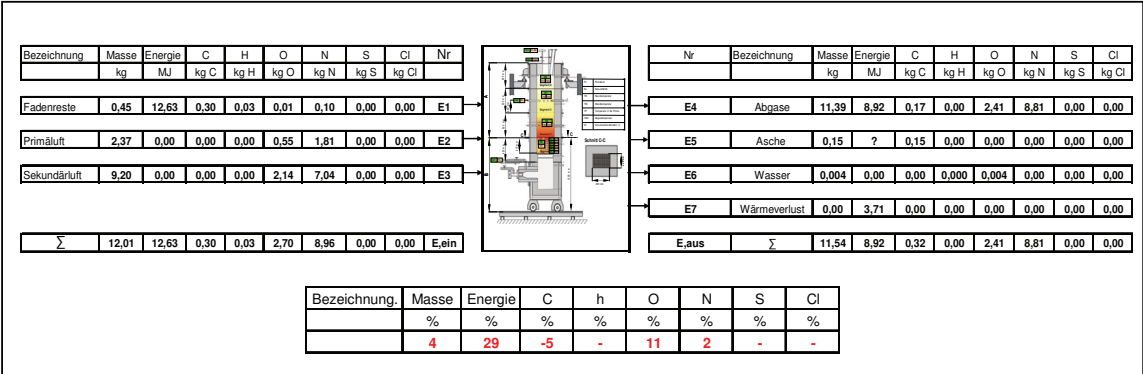


Abbildung 21 : Massen -und Energiebilanz für die Fadenreste

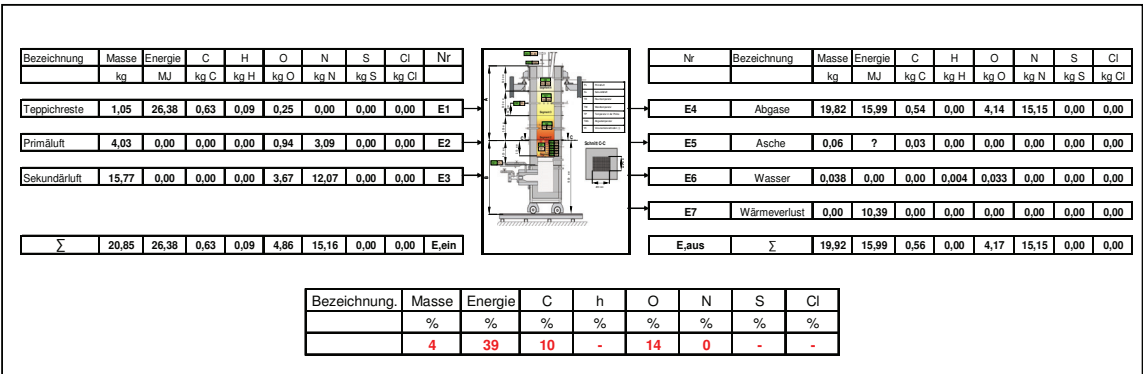


Abbildung 22 : Massen -und Energiebilanz für die Teppichreste

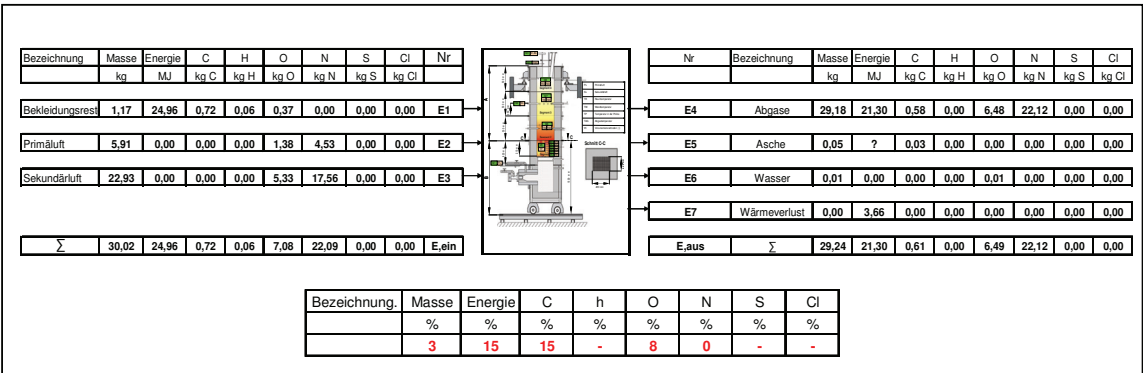


Abbildung 23 : Massen -und Energiebilanz für die Bekleidungsreste

Anhang

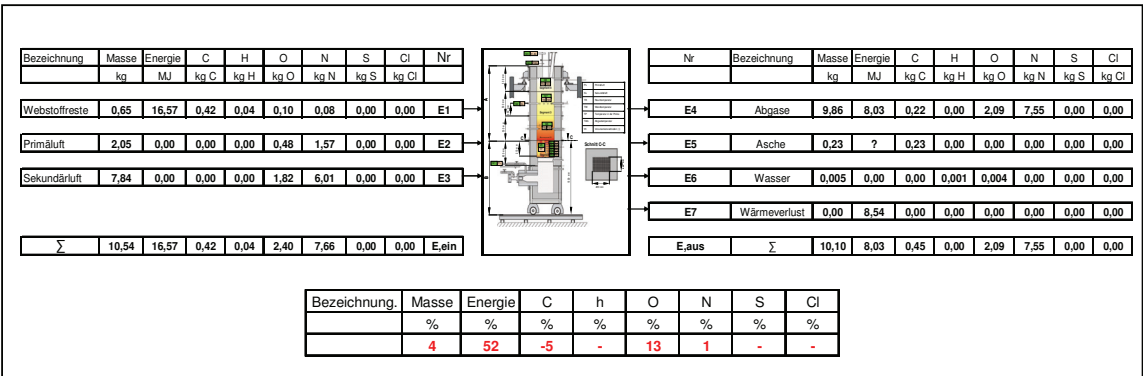


Abbildung 24 : Massen -und Energiebilanz für die Webstoffreste

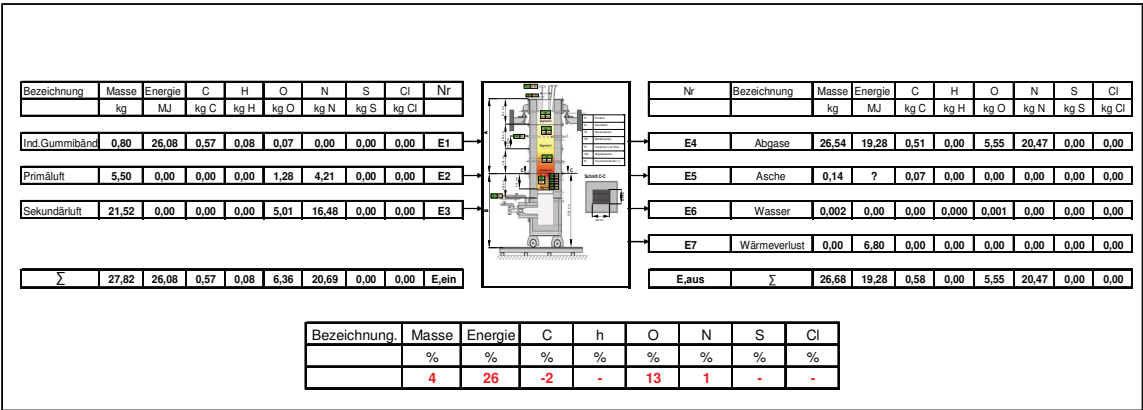


Abbildung 25: Massen -und Energiebilanz für die industriellen Gummibänder

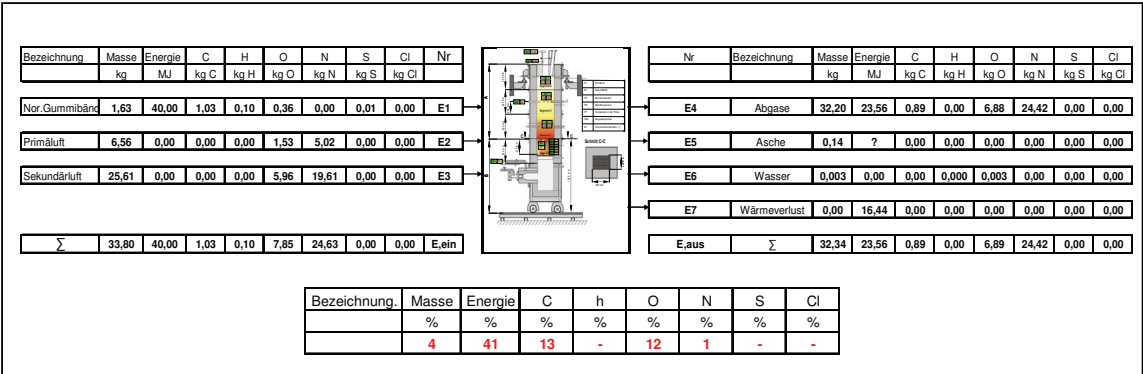


Abbildung 26: Massen -und Energiebilanz für die normalen Gummibänder

## Anhang G: Wirtschaftlichkeitsberechnungen

### Berechnung der jährlichen Kosten der Investition

Die jährlichen Kosten für den Betrachtungsfall „Finanzierung mit Eigenkapitalanteil“ werden nach Annuitätsmethode wie folgt berechnet:

$$K_{\text{Invest}} = I \cdot a_{\text{res}}$$

$$a_{\text{res}} = e \cdot a_{\text{Eigen}} + (1 - e) \cdot a$$

$$a_{\text{Eigen}} = \left(\frac{1}{n}\right) + a_v$$

$$a = a_{\text{annuität}} + a_v$$

$$a_{\text{annuität}} = \frac{\left(\frac{Z}{100}\right) \cdot \left(1 + \left(\frac{Z}{100}\right)\right)^n}{\left(1 + \left(\frac{Z}{100}\right)\right)^n - 1}$$

<b>I</b>	[ T€ ]	Höhe der Investition
<b>K<sub>Invest</sub></b>	[ T€ / a ]	Jährliche Kosten der Investition
<b>a</b>	[ (T€ / a) / T€ ]	Bewertungsfaktor für die Investition
<b>Z</b>	[ % p.a. ]	Zinssatz , Prozent pro Jahr
<b>n</b>	[ a ]	Nutzungsdauer , in Jahren
<b>a<sub>v</sub></b>	[ (T€ / a) / T€ ]	Anteilige jährliche Kosten für Versicherung , Revisionen ....

### Untersuchung zur Wirtschaftlichkeit einer 6 MW Wirbelschicht-Kesselanlage

Tabelle 5: Kosten einer 6 MW Wirbelschicht- Kesselanlage

<b>Investitionen : Gesamtanlage, inklusive Position 1 - 21</b>			
1 - Brennstoffannahme & Transport zum Kesselbunker		520.000	€
2 - Brennstoff-Bunker	enthalten in 1		€
3 - Eintragsvorrichtungen	enthalten in 1		€
4 - Wirbelschichtapparat 1		1.600.000	€
5 - Wirbelluftgebläse	enthalten in 4		€
6 - Rezi-Gebläse	enthalten in 4		€
7 - Dampferzeuger 1		1.300.000	€
8 - Speisewassersystem	enthalten in 7		€
9 - Dampfsystem		350.000	€
10 - Rohrleitungen	enthalten in 9		€
11 - Abgasreinigung		670.000	€
12 - Entaschung	enthalten in 4		€
13 - Schornstein	enthalten in 11		€
14 - MSR, Automatisierung	enthalten in 1 und 7		€
15 - Schaltanlage	enthalten in 1 und 7		€
16 - Bau (Einhausung)		250.000	€
17 - Lizenzgebühren 2,5% von Pos 4	2,5	40.000	€
18 - Dampfturbine und Luftkondensator	2300.000 nicht enthalten		€
19 - E-Schaltanlage		200.000	€
20- Montagekosten 6,0% von Pos. 1 bis 19	6	295.800	€
21- Engineering 8,0% von Pos. 1 bis 19	8	394.400	€
<b>Investition</b>		<b>5.620.200</b>	<b>€</b>

Tabelle 6: Berechnung jährlicher Investitionskosten

<b>Investition</b>	5.620.200	€
Eigenkapitalanteil	30	%
Eigenkapital	1.686.060	€
Fremdkapital	3.934.140	€
<b>Summe</b>	5.620.200	€
Nutzdauer	10	Jahre
Zinssatz	6	% p.a.
Annuitätsfaktor	0,156	T€/(T€.a )
Versicherung \Revisionen	2	% p.a.
Resultierender Faktor (m. Eig.Kap.-Ant.)	0,145	T€/(T€.a )
<b>Jährliche Kosten der Investitionen</b>	<b>815.534</b>	<b>€/a)</b>

## Anhang

Tabelle 7: Technische Daten

			Umrechnung	
Abfallart	<b>Textilabfälle</b>			
Jahreskapazität Entsorgung ( Jährliche Menge )	<b>10.000</b>	t /a		
Jahreskapazität Entsorgung ( Jährliche Menge )	<b>10.000.000</b>	kg /a		
kalkulatorische Volllaststundenzahl	<b>8.000</b>	h/a		
Ascheanteil im Brennstoff	<b>0,04</b>	kg/kg		
Stündliche erforderliche Brennstoffverbrauch	<b>1250</b>	kg /h	<b>0,3472</b>	kg/s
Maximale Tages Verbrauch EBS	<b>30</b>	t /d		
<b>Feuerungs- Nennleistung</b>				
Heizwert	<b>25000</b>	kJ/kg		
Brennstoffmassenstrom für Nennleistung	<b>0,24</b>	kg/s		
	<b>864</b>	kg/h	<b>20,736</b>	t /d
Jahres-Brennstoffverbrauch je Anlage bei 8000 h/a	<b>6.912</b>	t /a		
Kesselwirkungsgrad	<b>80</b>	%		
Nutzwärmeleistung Dampferzeuger	<b>4800</b>	kW		
Verkaufsfähige Wärmeleistung	<b>4800</b>	kW		
<b>Elektrischer Eigenbedarf</b>				
WL-Gebläse	<b>200</b>	kW		
Rezi-Gebläse	<b>200</b>	kW		
Kesselspeisepumpe	<b>25</b>	kW		
EBS-Eintragsvorrichtungen	<b>40</b>	kW		
Sonstiges	<b>45</b>	kW		
<b>Elektrischer Eigenbedarf Gesamt</b>				
Ascheanfall	<b>276</b>	t/a	<b>35</b>	kg/h
Bettmaterial-Verbrauch / Ersatz	<b>60</b>	t/a	<b>7,5</b>	kg/h
Kalkadditiv-Einsatz	<b>150</b>	t/a	<b>18,75</b>	kg/h
Einsatz Herdofenkoks	<b>50</b>	t/a	<b>6,25</b>	kg/h
Einsatz Ammoniumsulfat	<b>20</b>	t/a	<b>2,5</b>	kg/h
zu entsorgende Reststoffe Für Additiveinsatz ange- nommene Volllaststunden	<b>8000</b>	h/a	<b>70</b>	kg/h

Tabelle 8: Kosten / Preise von Betriebsmitteln

<b>Ausgaben</b>		
Anfahrbrennstoff	Methangas (Erdgas)	
kalkulatorische Volllaststundenzahl	8000	h/a
Methangaspreis	20	€ / MWh
Heizwert Methan	36000	kJ/m <sup>3</sup>
Heizwert Methan	10	kWh/m <sup>3</sup>
Methangasbedarf für 1 Anfahrvorgang	1500	m <sup>3</sup>
Anfahrvorgänge	6	Anfahren pro Jahr
Methangasbedarf gesamt	9000	m <sup>3</sup>
Methangasbedarf gesamt	90	MWh/a
Jahreskosten Gasverbrauch	1800	€ / a
Umgelegt auf Jahresstunden	0,225	€ / h
Strombezug	80	€ / MWh
Kosten für Bettmaterial	150	€ / t
Kosten Kalkadditiv	250	€ / t
Kosten Herdofenkoks	500	€ / t
Kosten für Ammoniumsulfa	200	€ / t
Entsorgungsgebühr Asche & Reststoffe	10	€ / t
lfd. Wartungskosten	15	€ / h
jährliche Lizenzgebühr	0,5	%
	8000	€ / a
Wartung durch SWSF-Hersteller	25000	€ / a
Durchschnittliche Personalkosten für 1 AK	12.000	€/a
Personalstellen (zusätzlich):	5	personen
Personalkosten effektiv	60.000	€/a
<b>Einnahme</b>		
Wärmeverkauf	40	€ / MWh
Entsorgungsgebühr für EBS (Einnahme)	10	€/t



Tabelle 9: Gesamte jährliche Kosten und Einnahmen in €/a (bei Wärmeverkaufspreis 40 €/ MW und BS -Einnahme in Höhe von 10 €/ t

Jahresvolllaststunden (h/a) b=	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	8760
<b>Jährliche Kosten</b>										
Investition	815.534	815.534	815.534	815.534	815.534	815.534	815.534	815.534	815.534	815.534
Personal	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000
Kosten für Anfahrgas	0	225	450	675	900	1.125	1.350	1.575	1.800	1.971
Wartungskosten (abs)	0	15.000	30.000	45.000	60.000	75.000	90.000	105.000	120.000	131.400
Strombezugskosten	0	40.800	81.600	122.400	163.200	204.000	244.800	285.600	326.400	357.408
Entsorgungskosten für Reststoffe	0	696	1.391	2.087	2.782	3.478	4.174	4.869	5.565	6.093
Kosten für Bettmaterial	0	1.125	2.250	3.375	4.500	5.625	6.750	7.875	9.000	9.855
Kosten für Kalkadditiv	0	4.688	9.375	14.063	18.750	23.438	28.125	32.813	37.500	41.063
Kosten für Herdofenkoks	0	3.125	6.250	9.375	12.500	15.625	18.750	21.875	25.000	27.375
Kosten für Ammoniumsulfat	0	500	1.000	1.500	2.000	2.500	3.000	3.500	4.000	4.380
Wartungsvertrag (durch SWSF-Hersteller)	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
jährliche Lizenzgebühr	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
<b>Summe Kosten</b>	<b>908.534</b>	<b>974.592</b>	<b>1.040.850</b>	<b>1.107.008</b>	<b>1.173.166</b>	<b>1.239.324</b>	<b>1.305.482</b>	<b>1.371.640</b>	<b>1.437.798</b>	<b>1.488.079</b>
Erlös Wärmeverkauf	0	192.000	384.000	576.000	768.000	960.000	1.152.000	1.344.000	1.536.000	1.681.920
Erlös Stromverkauf	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Einnahme Entsorgungsgebühr BS	0	8.640	17.280	25.920	34.560	43.200	51.840	60.480	69.120	75.686
<b>Summe Erlöse</b>	<b>0</b>	<b>200.640</b>	<b>401.280</b>	<b>601.920</b>	<b>802.560</b>	<b>1.003.200</b>	<b>1.203.840</b>	<b>1.404.480</b>	<b>1.605.120</b>	<b>1.757.606</b>
<b>Gewinn vor Steuern</b>	<b>-908.534</b>	<b>-774.052</b>	<b>-639.570</b>	<b>-505.088</b>	<b>-370.606</b>	<b>-236.124</b>	<b>-101.642</b>	<b>32.840</b>	<b>167.322</b>	<b>269.528</b>

**Untersuchung zur Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage**

Tabelle 10: Berechnung der Jährliche Kosten und Erlöse

<b>1. Versuchsdaten</b>				
oTs-Gehalt	kg oTs/ kg S	<b>0,76</b>		
spezifische.Biogasertrag	l N / kg oTs	<b>355</b>		
Methangehalt	%	<b>53,52</b>		
spezifische.Methangehalt	l N / kg oTs	<b>190</b>		
spezifische.Methangehalt	m <sup>3</sup> (N)/kg S	<b>0,144</b>		
<b>2. Anlageleistung und Energiemenge</b>				
		Anlage 1	Anlage 2	Anlage 3
Anlageleistung	kWh <sub>el</sub>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>
Gesamte erzeugte Strommenge	kWh <sub>el</sub> /a	<b>4.000.000</b>	<b>8.000.000</b>	<b>12.000.000</b>
Gesamte erzeugte Wärmemenge	kWh <sub>therm</sub> /a	<b>5.473.684</b>	<b>10.947.368</b>	<b>16.421.053</b>
notwendige Methanmenge	m <sup>3</sup> (N)/a	<b>1.052.632</b>	<b>2.105.263</b>	<b>3.157.895</b>
Jährliche Substratmenge	t FM/a	<b>7.290</b>	<b>14.580</b>	<b>21.870</b>
<b>3. Jährliche Kosten</b>				
		Anlage 1	Anlage 2	Anlage 3
Anlageleistung	kWh <sub>el</sub>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>
Investitionskosten	€	<b>2.000.000</b>	<b>4.000.000</b>	<b>6.000.000</b>
Jährliche Kapitalkosten	€/a	<b>260.215</b>	<b>520.430</b>	<b>780.645</b>
Wartung und Reparaturen (1,5 % der Investition)	€/a	<b>30000</b>	<b>60000</b>	<b>90000</b>
Personal (10 Arbeitskräfte, 1000/Monat)	€/a	<b>120.000</b>	<b>120.000</b>	<b>120.000</b>
Stromverbrauch (6% der erzeugten Strom )	€/a	<b>19.200</b>	<b>38.400</b>	<b>57.600</b>
Wärmeverbrauch (30% der erzeugten Strom )	€/a	<b>65.684</b>	<b>131.368</b>	<b>197.053</b>
Kompostverarbeitung	€/a	<b>36.449</b>	<b>72.898</b>	<b>109.348</b>
<b>Gesamte Jährliche Kosten</b>	€/a	<b>531.549</b>	<b>943.097</b>	<b>1.354.646</b>
<b>4. Erlöse</b>				
		Anlage 1	Anlage 2	Anlage 3
Anlageleistung	kWh <sub>el</sub>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>1500</b>
Entsorgungsgebühr	€/a	<b>72.898</b>	<b>145.797</b>	<b>218.695</b>
Strom	€/a	<b>320.000</b>	<b>640.000</b>	<b>960.000</b>
Wärem	€/a	<b>218.947</b>	<b>437.895</b>	<b>656.842</b>
Düngerverkauf	€/a	<b>72.898</b>	<b>145.797</b>	<b>218.695</b>
<b>Gesamte Erlöse</b>	€/a	<b>684.744</b>	<b>1.369.489</b>	<b>2.054.233</b>

## Anhang

Tabelle 11: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung für Biogasanlage (500 kW<sub>el</sub>) unter Berücksichtigung von Variante 3 (alle Output-Produkte wird verkauft )

Anlage 1 ( 500 kW <sub>el</sub> )										
Jahresvolllaststunden (h/a) b=	0	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	8760
<b>Kosten</b>										
Jährliche Kapitalkosten	260.215	260.215	260.215	260.215	260.215	260.215	260.215	260.215	260.215	260.215
Wartung und Reparaturen (1,5 % der Investition)	0	3.750	7.500	11.250	15.000	18.750	22.500	26.250	30.000	32.850
Personal (10 Arbeitskräfte, 1000/Monat)	0	15.000	30.000	45.000	60.000	75.000	90.000	105.000	120.000	131.400
Stromverbrauch (6% der erzeugten Strom )	0	2.400	4.800	7.200	9.600	12.000	14.400	16.800	19.200	21.024
Wärmeverbrauch (30% der erzeugten Strom )	0	8.211	16.421	24.632	32.842	41.053	49.263	57.474	65.684	71.924
Kompostverarbeitung	0	4.556	9.112	13.668	18.225	22.781	27.337	31.893	36.449	39.912
<b>Summe Kosten</b>	260.215	294.132	328.049	361.965	395.882	429.799	463.715	497.632	531.549	557.325
<b>Erlöse</b>										
Einnahmen aus Strom	0	40.000	80.000	120.000	160.000	200.000	240.000	280.000	320.000	350.400
Einnahmen aus Wärme	0	27.368	54.737	82.105	109.474	136.842	164.211	191.579	218.947	239.747
Einnahmen aus Substrat	0	9.112	18.225	27.337	36.449	45.562	54.674	63.786	72.898	79.824
Einnahmen aus Dünger-verkauf	0	9.112	18.225	27.337	36.449	45.562	54.674	63.786	72.898	79.824
<b>Erlös-Summe</b>	0	85.593	171.186	256.779	342.372	427.965	513.558	599.151	684.744	749.795
<b>Gewinn vor steuern in €/a</b>	-	-	-	-	-53.510	-1.833	49.843	101.519	153.196	192.470
<b>Gewinn vor steuern in T €/a</b>	-260	-209	-157	-105	-54	-2	50	102	153	192

## Anhang

Tabelle 12: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung für Biogasanlage (1000 kW<sub>el</sub>) unter Berücksichtigung von Variante 3 (alle Output-Produkte wird verkauft )

<b>Anlage 1 (1000 kW<sub>el</sub>)</b>										
<b>Jahresvolllast- stunden (h/a) b=</b>	<b>0</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>3000</b>	<b>4000</b>	<b>5000</b>	<b>6000</b>	<b>7000</b>	<b>8000</b>	<b>8760</b>
<b>Kosten</b>										
Jährliche Kapitalkosten	520.43 0	520.43 0	520.43 0	520.43 0	520.43 0	520.43 0	520.430	520.430	520.430	520.430
Wartung und Reparaturen (1,5 % der Investition)	0	7.500	15.000	22.500	30.000	37.500	45.000	52.500	60.000	65.700
Personal (10 Arbeitskräfte, 1000/Monat)	0	15.000	30.000	45.000	60.000	75.000	90.000	105.000	120.000	131.400
Stromverbrauch (6% der erzeugten Strom)	0	4.800	9.600	14.400	19.200	24.000	28.800	33.600	38.400	42.048
Wärmeverbrauch (30% der erzeugten Strom)	0	16.421	32.842	49.263	65.684	82.105	98.526	114.947	131.368	143.848
Kompostverarbeitung	0	9.112	18.225	27.337	36.449	45.562	54.674	63.786	72.898	79.824
<b>Summe Kosten</b>	<b>520.43 0</b>	<b>573.26 4</b>	<b>626.09 7</b>	<b>678.93 0</b>	<b>731.76 4</b>	<b>784.59 7</b>	<b>837.430</b>	<b>890.264</b>	<b>943.097</b>	<b>983.251</b>
<b>Erlöse</b>										
Einnahmen aus Strom	0	80.000	160.00 0	240.00 0	320.00 0	400.00 0	480.000	560.000	640.000	700.800
Einnahmen aus Wärme	0	54.737	109.47 4	164.21 1	218.94 7	273.68 4	328.421	383.158	437.895	479.495
Einnahmen aus Substrat	0	18.225	36.449	54.674	72.898	91.123	109.348	127.572	145.797	159.648
Einnahmen aus Düngerverkauf	0	18.225	36.449	54.674	72.898	91.123	109.348	127.572	145.797	159.648
<b>Erlös-Summe</b>	<b>0</b>	<b>171.18 6</b>	<b>342.37 2</b>	<b>513.55 8</b>	<b>684.74 4</b>	<b>855.93 0</b>	<b>1.027.11 6</b>	<b>1.198.30 2</b>	<b>1.369.48 9</b>	<b>1.499.59 0</b>
<b>Gewinn vor steuern in €/a</b>	<b>- 520.43 0</b>	<b>- 402.07 8</b>	<b>- 283.72 5</b>	<b>- 165.37 2</b>	<b>- 47.019</b>	<b>71.333</b>	<b>189.686</b>	<b>308.039</b>	<b>426.391</b>	<b>516.339</b>
<b>Gewinn vor Steuern in T €/a</b>	<b>-520</b>	<b>-402</b>	<b>-284</b>	<b>-165</b>	<b>-47</b>	<b>71</b>	<b>190</b>	<b>308</b>	<b>426</b>	<b>516</b>

Tabelle 13: Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung für Biogasanlage (1500 kWel) unter Berücksichtigung von Variante 3 (alle Output-Produkte wird verkauft )

<b>Anlage 1 (1500 kWel)</b>												
	<b>Jahresvolllast- stunden (h/a) b=</b>	<b>0</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>3000</b>	<b>4000</b>	<b>5000</b>	<b>6000</b>	<b>7000</b>	<b>8000</b>	<b>8760</b>	
<b>Kosten</b>												
Jährliche Kapitalkosten		780.645	780.645	780.645	780.645	780.645	780.645	780.645	780.645	780.645	780.645	780.645
Wartung und Reparaturen (1,5 % der Investition)		0	11.250	22.500	33.750	45.000	56.250	67.500	78.750	90.000	98.550	98.550
Personal (10 Arbeitskräfte, 1000/Monat)		0	15.000	30.000	45.000	60.000	75.000	90.000	105.000	120.000	131.400	131.400
Stromverbrauch (6% der erzeugten Strom)		0	7.200	14.400	21.600	28.800	36.000	43.200	50.400	57.600	63.072	63.072
Wärmeverbrauch (30% der erzeugten Strom)		0	24.632	49.263	73.895	98.526	123.158	147.789	172.421	197.053	215.773	215.773
Kompostverarbeitung		0	13.668	27.337	41.005	54.674	68.342	82.011	95.679	109.348	119.736	119.736
<b>Summe Kosten</b>		<b>780.645</b>	<b>852.395</b>	<b>924.146</b>	<b>995.896</b>	<b>1.067.646</b>	<b>1.139.396</b>	<b>1.211.146</b>	<b>1.282.896</b>	<b>1.354.646</b>	<b>1.409.176</b>	<b>1.409.176</b>
<b>Erlöse</b>												
Einnahmen aus Strom		0	120.000	240.000	360.000	480.000	600.000	720.000	840.000	960.000	1.051.200	1.051.200
Einnahmen aus Wärme		0	82.105	164.211	246.316	328.421	410.526	492.632	574.737	656.842	719.242	719.242
Einnahmen aus Substrat		0	27.337	54.674	82.011	109.348	136.685	164.022	191.358	218.695	239.471	239.471
Einnahmen aus Düngerverkauf		0	27.337	54.674	82.011	109.348	136.685	164.022	191.358	218.695	239.471	239.471
<b>Erlös-Summe</b>		<b>0</b>	<b>256.779</b>	<b>513.558</b>	<b>770.337</b>	<b>1.027.116</b>	<b>1.283.896</b>	<b>1.540.675</b>	<b>1.797.454</b>	<b>2.054.233</b>	<b>2.249.385</b>	<b>2.249.385</b>
<b>Gewinn vor Steuern in €/a</b>		<b>780.645</b>	<b>595.616</b>	<b>410.587</b>	<b>225.558</b>	<b>-40.529</b>	<b>144.500</b>	<b>329.529</b>	<b>514.558</b>	<b>699.587</b>	<b>840.209</b>	<b>840.209</b>
<b>Gewinn vor Steuern in T €/a</b>		<b>-781</b>	<b>-596</b>	<b>-411</b>	<b>-226</b>	<b>-41</b>	<b>144</b>	<b>330</b>	<b>515</b>	<b>700</b>	<b>840</b>	<b>840</b>

**Thesenpapier**  
**DISSERTATION**

1. Die Industrie-City in Aleppo erstreckt sich über eine Gesamtfläche von 4.412 Hektar und hat vier Hauptindustriegruppen: Textilindustrie (Anteil 43 %), Lebensmittelindustrie (Anteil 13 %), Chemische Industrie (Anteil 20 %) und Verarbeitende und Produzierende Industrie (Anteil 24 %). Der Aufbau der Industrie-City befindet sich derzeit in der Entwicklungsphase. Gegenwärtig gibt es insgesamt 406 Produktionsbetriebe und 1505 Betriebe in der Bau- und Genehmigungsphase.
2. Das zunehmende Umweltbewusstsein und die wachsenden Probleme der Abfallwirtschaft zwingen die politischen Entscheidungsträger der Industrie-City zur Gestaltung einer geordneten Abfallwirtschaft. Die durchgeführten Analysen zeigten, dass vielfältige Probleme und Schwachstellen im Abfallwirtschaftssystem der Industrie-City in Aleppo existieren. Neben fehlenden notwendigen Gesetzen und Verordnungen sowie aufgrund mangelhafter Finanzierung gibt es weitere Probleme logistischer, organisatorischer und technischer Art.
3. Die Industrieabfälle teilen sich in zwei Hauptarten: Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle und produktionsspezifische Abfälle. Letztere umfasst verwertbare und nicht verwertbare Abfälle. Darüber hinaus findet man gefährliche und nicht gefährliche Stoffe. Die anfallenden Industrieabfälle wurden nicht getrennt gesammelt und erfasst und aufgrund fehlender Behandlungsanlagen auf einer wilden Deponie abgelagert.
4. Textilabfälle und organische Produktionsreststoffe aus der Lebensmittelindustrie sind aktuell die relevanten anfallenden Stoffströme. Die jährliche Menge der Textilabfälle aus 200 Betrieben wurde mit ca. 10.000 t/a ermittelt. Zukünftig ist eine Verdopplung der Abfallmengen zu erwarten. Die aktuell anfallenden organischen Reststoffe aus der Lebensmittelindustrie betragen ca. 15.000 t/a. Das sind Getreiderückstände, Schlämme, Bioabfälle etc. Diese Mengen werden

in den nächsten Jahren mit der weiteren Entwicklung des Industriegebietes zunehmen.

5. Die Finanzierungsstruktur ist nicht differenziert genug. Die Kosten sind immer gleich hoch und richten sich nicht nach Menge und Art der anfallenden Industrieabfälle. Die gegenwärtig bezahlten Abfallgebühren sind sehr gering und können nicht alle notwendigen Kosten für die nachhaltige Abfallwirtschaft abdecken. Aus diesem Grund wurde der Industrie-City ein Gebührenkonzept vorgeschlagen, das aus einer Grundgebühr und einer variablen Gebühr besteht. Dadurch wurden die wichtigen Aspekte (insbesondere die ausreichende Zahlungsfähigkeit und -bereitschaft der Unternehmer und das Erreichen einer hohen Akzeptanz für alle Beteiligten) berücksichtigt.
6. Die Textilindustrie stellt derzeit aufgrund ihrer großen Produktionsbetriebe und ihrer hohen anfallenden Abfallmenge den wichtigsten Industriezweig dar. Sieben unterschiedliche Textilabfallarten wurden charakterisiert und zur Energiegewinnung durch verschiedene thermische Verwertungswege (Pyrolyse und Verbrennung auf der Chargenrostversuchsanlage) untersucht. Die Ergebnisse der Brennstoffcharakterisierung deuten darauf hin, dass die Textilabfälle eine gute Brennstoffqualität haben. Sie zeichnen sich durch einen hohen Heizwertgehalt ( $H_u$  19-32 MJ/kg) und einen hohen Gehalt an brennbaren Bestandteilen ( $\xi_{\text{brenn, Br}}$  90-99 Mass. %) aus. Des Weiteren weisen die Textilabfälle einen geringen Ascheanteil (max. 10 Mass %) und einen niedrigen Chlorgehalt (max. 0,02 Mass. %) auf.
7. Zur Energiegewinnung wurden verschiedene Textilabfallarten entgast und verbrannt. Bei der Entgasung (thermogravimetrische Analyse) schwankt je nach Textilabfallart die gesamte stattgefundene Massenabnahme zwischen 60 und 83 Mass. % und beginnt die Massenänderung im Temperaturbereich 158-456 °C und endet im Temperaturbereich 529-681 °C. Die Ergebnisse der thermogravimetrischen Analyse haben auch gezeigt, dass die kondensierbaren Bestandteile Teere und Öle die Hauptpyrolyseprodukte darstellen. Da momentan in Syrien die stoffliche und thermische Verwertung für Pyrolyseöle

und -teere nicht möglich ist, sind die untersuchten Textilien für die Herstellung heizwertreicher Gase durch die Entgasung nicht geeignet.

8. Untersuchungen zur Bestimmung des Abbrandverhaltens von sieben unterschiedlichen Textilabfällen in der Chargenrostversuchsanlage wurden im Rahmen dieser Arbeit vorgenommen. Als Kenngröße zur quantitativen Beschreibung des Abbrandverhaltens von Textilabfällen wird die Reaktionsfrontgeschwindigkeit (auch genannt Abbrandgeschwindigkeit) sowie Zündrate betrachtet. Unter identischen Versuchsbedingungen wird für die Bekleidungsreste im Vergleich zu den anderen Textilabfällen eine deutlich höhere Abbrandgeschwindigkeit ermittelt. Im Gegensatz dazu weisen die Gummibänder die niedrigste auf.
9. Das Rostfeuerungs-system ist geeignet für bestimmte Textilabfallarten. Durch die Verbrennungsversuche am Chargenrost wird festgestellt, dass die Faserreste bei den ausgewählten Bedingungen nicht verbrannt sind. Nach dem Versuch wurde herausgefunden, dass sich eine Kunststoffplatte aus den Faserresten auf dem Rost gebildet hat. Der Einsatz der Faserreste im Rostsystem verursacht möglicherweise Probleme wie zum Beispiel Behindern des Eintritts von Primärluft. In diesem Fall ist es zu empfehlen, diese Stoffe in einem anderen Verfahren wie z.B. „Wirbelschichtfeuerung“ thermisch zu verwerten.
10. Das Abbrandverhalten, hier durch eine hohe Reaktionsfrontgeschwindigkeit und Zündrate bestimmt, führt zu einem entsprechend hohen Zünd- und Brennstoffumsatz am Rostanfang. Um die Bildung der Flamme am Rostbeginn zu vermeiden, soll der Brennstoffumsatz in die Rostmitte verlagert werden. Dies kann durch die gezielte Beeinflussung verschiedener Verbrennungsparameter, wie z.B. die Primärluftverteilung realisiert werden.



11. Die Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit einer 6 MW Wirbelschicht-Kesselanlage zeigten, dass zur Gewährleistung eines wirtschaftlichen Betriebs der thermischen Behandlungsanlage in der Industrie-City die vorhandenen Marktbedingungen (Wärmeabgabepreis 40 €/MWh und Entsorgungsgebühr 10 €/t) optimiert werden müssen. Dafür empfiehlt es sich, die Entsorgungsgebühr auf 20 €/t zu erhöhen.
12. Die Lebensmittelindustrie ist als zweiter relevanter Industriezweig anzusehen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden verschiedene organische Rückstände aus der Lebensmittelbranche biologisch untersucht. Aus den organischen Stoffen der Lebensmittelindustrie kann eine hohe Kompostqualität durch das Einsetzen bestimmter organischer Stoffe im Inputmaterial erreicht werden. Beste Kompostqualität wird durch die Mischung von Bioabfällen und Getreiderückständen erreicht.
13. Der Einsatz des Weizenschlammes bei der Kompostierung als Inputmaterial verursacht eine Erhöhung des Kupfergehalts. Möglicherweise liegt es daran, dass Kupfer durch das Kochen des Weizens in einem aus Kupfer hergestellten großen Kessel (ein Kessel hat eine Kapazität von 5.000 kg Weizen) lösen kann. Durch diesen Prozess wird das Kochwasser mit Kupfer belastet, das anschließend nach der Abwasserbehandlung im Schlamm bleiben kann.
14. Die Untersuchungen zur Energiegewinnung aus Getreiderückständen durch Vergärung verdeutlichen, dass der Biogasgehalt aus den untersuchten organischen Stoffen zwischen 318 und 382 l (n)/kg oTs schwankt und die Methankonzentration zwischen 52 % und 55 % liegt. Diese Werte sind relevant für die Beurteilung des wirtschaftlichen Betriebs von Biogasanlagen in Syrien.

15. Unter Berücksichtigung syrischer Marktbedingungen (Stromverkaufspreis 8 ct/ kWh<sub>el</sub> und Wärmeabgabepreis 4 ct/ kWh<sub>therm</sub>) sind Biogasanlagen für Vergärung der Getreiderückstände in Syrien nur mit Wärmeverkauf wirtschaftlich und sie sollten im Industriegebiet errichtet werden, da nur dort die Wärme ganzjährig genutzt werden kann. Sowohl kleine als auch große Biogasanlagen können mit „Nur-Stromverkauf“ in der Praxis in Syrien nicht umgesetzt werden.
16. Die Reformierung des Finanzierungssystems, die Änderung der Abfallgesetze, die Ausrüstung der Industrie-City mit logistischen Ausstattungen und der Aufbau einer Kompostierungsanlage sowie einer thermischen Verwertungsanlage sind relevante Herausforderungen für den Aufbau eines funktionierenden Abfallwirtschaftssystems.
17. Für das Überwinden existierender technischer und finanzieller Probleme bietet sich die Einbeziehung des privatwirtschaftlichen Sektors an. Dadurch können die Defizite an Fachwissen und praktischen Erfahrungen, die unzureichende Organisation und auch die mangelnde Ausstattung der Industrie-City zum Teil ausgeglichen werden.

# LEBENS LAUF

## Persönliche Daten

<b>Familienname</b>	Majanny
<b>Vorname</b>	Abdulkader
<b>Geburtsort / Datum</b>	Edlib, Areha , 12 / 11 / 1980
<b>Familienstand</b>	verheiratet
<b>Staatsangehörigkeit</b>	syrisch
<b>Adresse</b>	Am Vögenteich 14 , Wohnungs-Nr 2022 ,Rostock 18055
<b>E-Mail</b>	Abdulkader.Majanny@uni-rostock.de nadeemrkh@yahoo.com

## Schulbildung

<b>1986 - 1992</b>	Ibrahim Hanano-Schule, in Areha
<b>1992 - 1995</b>	Alsayadi-Schule, in Areha
<b>1995 - 1998</b>	Albasel-Gymnasium, in Areha
<b>1998</b>	Abitur

## Studium

<b>1998 - 2003</b>	Studium des Diplomstudiengangs Maschinenbau (Hochschuldiplom in Maschinenbau- Design und Produktionstechnik )Universitätsabschluss/Fakultät für Maschinenbau, Universität Aleppo, Syrien.
<b>2003-2005</b>	Postgraduales Diplom in der Produktionstechnologie/Fakultät für Maschinenbau, Universität Aleppo, Syrien.
<b>Seit 1.10.2006</b>	Promotionsstudent an der Uni-Rostock, Institut für Umwelt-ingenieurwesen, Fachgebiet Abfall- und Stoffstromwirtschaft